عالم المعرفة

200

الزلازل

● حقيقتها وآثارها

تأليف:
د. شاهر جمال آغا

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت



سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ الكويت

صدرت السلسلة في يناير 1978 بإشراف أحمد مشاري العدواني 1923 ـ 1990

200

الزلازل

حقيقتها وآثارها

تأليف: د. شاهر جمال آغا



المحتوى

المحتوى
المحتوى
المحتوى

المحتوى

مقدمه

السلام عليكم... السلام عليكم... ومن وراء نظارته الذهبية السميكة نظر إليّ باندهاش وبصرامة، وكأنه يقول ألا ترى أنني أقرأ في كتاب الله. كان ذلك في مايو من عام 1967 وبعد أن غادرت وزملائي من كلية الجغرافية في جامعة لينينغراد إلى صحراء قراقوم التركمانستانية. وكان لقائي مع الشيخ الطاعن السن هذا في ضاحية لمدينة عشقباد، إذ كان يجلس أمام رسم قبر قد سوي على الأرض تقريبا. وكانت تحيط به بقايا جدران مسجد متهدم تزينها نقوش فسيفسائية بديعة فرقتها شقوق عميقة، أخذت تتسع سنة بعد أخرى. لقد كان مسجدا معروفا لدى سكان عشقباد ولكن زلزال 1948 قد أحاله إلى ركام. وهذه أول مرة أتعرف التخريب الذي تخلفه الهزات الأرضية. ومضت بعض الأيام وغادرنا إلى مدينة طشقند، وكان الوقت ضحى وكنت مستلقيا على سرير في بيت الطلبة، وإذ بجدران الغرفة ترتجف بعنف ثم تميل إلى الأمام وترتد إلى موضعها، وفي اللحظة نفسها صدحت أصوات الأواني المنزلية المتساقطة في غرف الطلبة بعنف ولم ينقصها علوا سوى صيحات الطلبة وبلغات مختلفة. ولقد هرعوا من غرفهم فارين وبمظاهر شتى يدعو بعضها للأسى. شعرت بخطورة الموقف فيممت بهدوء شطر المخرج. وفي الشارع رأيت الناس في هرج ومرج وهلع بالغ، إذ إنهم لم ينسوا بعد زلزال طشقند المدمر الذي وقع

قبل عام فقط.

مرت سنوات كثيرة وجاء عام 1982 وكنت أدرس في جامعة صنعاء، فارتجفت المدينة برفق في شهر يناير تحت لمسات الأمواج الاهتزازية لزلزال ذمار غير البعيد عن العاصمة. لقد تسنى لي مع طلبة قسم الجغرافية زيارة منطقة الزلزال. وكان مركز الزلزال قريبا من مدينة ذمار ولم يكن عميقا ودائرة تدميره ليست واسعة مما يشير إلى طابعه السطحي. ولكن آثاره التدميرية لم تكن هينة. مررت ببعض المدن الصغيرة والقرى الواقعة في دائرة التدمير العظمى وكان المشهد مريعا. لم أجد بيتا واحدا سليما تقريبا. فالهدم كامل أحيانا وجزئي في أحيان أخرى. وكثيرا ما قذف بالسقف أو بجدار أو أكثر. كما أن الشقوق تملأ الجدران وذات اتجاهات وزوايا معينة وملأت شظايا الزجاج الأرض وتناثر بعضها في الشوارع. لقد ذكرني منظر التدمير بمدن الحروب المخربة كبرلين.

الزلازل جزء من حياة الأرض وجزء مأساوي من تاريخ البشر ولا يمر عام إلا ونسمع بعشرات الزلازل وبعضها قوي ومدمر كزلزال أرمينيا في عام 1989 وزلزال شمال غرب إيران 1990. ولقد ذهب ضحيتها الآلاف ودمرت مراكز بشرية بكاملها. ولقد تفحصت المكتبة العربية في مكتبات القطر فلم أجد سوى النزر اليسير والقديم عن الزلازل، فأحببت أن أسهم بتقديم شيء ما عن هذه الظاهرة الطبيعية التي شاركت بفعالية في رسم تاريخ الأرض الطبيعي، وهي المنوط بها تغيير معالم الأرض في يوم من الأيام. ويجب أن أشير إلى أن وطننا العربي يقع في نطاقين زلزاليين نشيطين هما نطاق البحر الأبيض المتوسط والبحر الأحمر.

لقد عملت في كتابي على دراسة الظاهرة الزلزالية، ليس بشكل مبتور ومنفصل عن المكان الذي تحدث فيه وهي الأرض. بل كان لابد من استعراض مبسط للإطار الذي تتكون فيه الزلازل فكان لابد من إعطاء صورة مختصرة ومركزة عن منشأ الأرض وبنيتها الداخلية وقشرتيها القارية والمحيطية وحركة المواد المكونة للأرض. لأن الهزات الأرضية نتاج خصوصية بنية الأرض وبنائها.

وعليه تضمن البحث الموضوعات التالية:

- منشأ وأصل الأرض.

- بنية الأرض الباطنية ومظاهر الحرارة أو الضغط والساحة المغناطيسية.
- حركة القشرة الأرضية والمسطحات أو الصفائح البنائية.
- أسباب ومسببات الزلازل.
- آلية الزلزلة.
- قياس ومقاييس الزلازل.
- الأمواج الاهتزازية ومدلولاتها.
- الآثار الناتجة عن الزلازل.
- توقع الزلازل.
- دور الإنسان في حدوث الزلازل.
- الزلازل والأبنية.
- قصص من الزلازل.
- ماذا علينا أن نفعل ونتجز قبل حدوث الزلزال وحين وقوعه وبعد خموده.

وأسأل الله أن يكون قد وفقني في إضافة لبنة جديدة إلى المكتبة العلمية العربية وسددت ثغرة فيها.

المؤلف

١ كلمة عن أصل الأرض

الأرض هي الحيز الذي تظهر فيه الهزات الأرضية، لذا لابد من التعرف ولو قليلا على أصل ومنشأ الكرة الأرضية لأن في هذه المعرفة بيانا لكثير من خصوصيات الأرض بأعماقها المختلفة، والتي يمكن من خلالها إلقاء الضوء على كثير من الجوانب المبهمة لظاهرة الزلزلة.

تشير أكثر الفرضيات حول منشأ الأرض. أن الأرض حية ليست جامدة، وهذه الحيوية ناجمة عن الطاقة الحرارية الكبيرة الموجودة بين جنباتها، والتي تنفث من آن إلى آخر وبدرجات مختلفة الشدة على شكل براكين أو حركات زلزالية. ولكن من أين جاءت هذه الطاقة؟ هذا هو الأمر الذي سنحاول بيانه عبر فرضيات تشكل الأرض.

لقد بدأ البحث الحثيث عن أصل ومنشأ الأرض والمنظومة الشمسية كاملا في مطلع القرن الثامن عشر.

ولعل من أبرز رواد هذه الفترة عالم الطبيعة الفرنسي ج. ل. لاكليرك دي بيوفون، الذي تقول فرضيته بأن الأرض قد تشكلت نتيجة صدمة قوية تلقتها الشمس بوساطة مذنب عملاق، أدى إلى تمزق الجزء الخارجي وتشكل مختلف الكواكب

الأرضية(*). ويعتبر العالم المذكور أول من نادى بفرضية الكارثة الأرضية لتفسير عملية تكون الأرض والكواكب الشمسية الأخرى. لقد طورت هذه الفرضية لاحقا من قبل علماء بارزين وذلك حتى مطلع القرن العشرين، إلا أن ستار النسيان قد أسدل في هذا القرن على مثل هذه الآراء. لأن عملية الصدم الآنفة لا يمكنها أن تتطابق مع عمليات تكون الكواكب التي تمت عبر مراحل تطورية منطقية طويلة الأمد.

إن ما جاء به الفيلسوف الألماني «كانت» في سنة 1755 يعتبر لبنة حقيقية في صرح المعرفة البشرية عن أصل الشمس وكواكبها المختلفة. ولقد وصل الأمر بهذا الفيلسوف إلى القول: «اعطوني المادة وسأريكم كيف يجب أن يتشكل العالم منها».

تنطلق فرضية كانت من اعتقاد مفاده أن المادة المنتشرة في الفضاء كانت مبعثرة في الفضاء على شكل جزئيات أولية منتظمة التوزيع. ولكن فيما بعد وتحت تأثير قوة الثقالة الكونية بدأ ظهور مراكز تجمع مادية ومثلت الشمس أحد هذه المراكز. في الوقت نفسه وبتأثير من قوة الجاذبية بدأت المادة بالحركة الدورانية، ونتيجة لهذه الحركة المادية حول مركز الشمس كون غبار السحب الكونية كواكب المجموعة الشمسية.

أما د. ي لابلاس عالم الرياضيات الفرنسي فلقد أسهم في إعطاء التفسير الرياضياتي لفرضية كانت (1796)، الأمر الذي جعل العلماء يقرنون اسمي هذين العالمين معا عند الكلام عن الفرضية التي عرفت فيما بعد بفرضية «كانت» ولابلاس.

استنادا إلى ماجاء به لابلاس، تشكلت في البداية سحابة غازية تعرضت مع الزمن للتجمع والتمركز والحركة الدورانية والانضغاط المتزايد في مركز السحابة. وفيما بعد تكونت الشمس من هذه السحابة المتنامية الضغط والكثافة. ومع تزايد الانضغاط وحركة الدوران داخل الكتلة هذه أخذت الأخيرة بالتسطح والتفلطح وبدأت الحلقات تنفصل عنها واحدة إثر الأخرى لتشكل النوى الأولية لكواكب المجموعة الشمسية. وهكذا واستنادا إلى هذه الفرضية يمكن القول إن الكواكب في بدء ظهورها كانت كرات غازية عالية الحرارة، ثم مع مرور الزمن أخذت بالتبرد والتصلب والتقلص التدريجي.

(*) الأرض، المريخ، الزهرة، عطارد.

ومن هنا نشاهد أن فرضية كانت ولابلاس تنتسب إلى مجموعة الفرضيات التي تؤمن بالمنشأ والأصل الساخن الملتهب للكواكب. (حسب لابلاس فقط).

لقد احتلت فرضية كانت ولابلاس مركز الصدارة وسط الفرضيات المختلفة آنذاك وذلك على امتداد القرن التاسع عشر. ولقد استند إليها كثير من العلماء في تأكيد الكثير من النظريات العلمية. ومع ذلك بدأت الآراء المعارضة بالتجمع التدريجي وكان من أهم الاعتراضات:

«أن الأمر الحيوي بالنسبة للمجموعة الشمسية هو توزع لحظة وكمية الحركة بين الكواكب والشمس. الأمر الذي يخضع للعلاقة بين كتلة الكواكب والشمس والمسافة التي تفصل بين الكواكب من جهة والشمس من جهة أخرى. وبما أن أصل الشمس وكواكبها واحد، وبما أن كتلة الشمس تعادل (90٪) من كتلة المنظومة الشمسية، لذا فإنها أي الشمس يجب أن تمتلك الجزء الأكبر من لحظة[*1] وكمية الحركة. ولكن وبسبب حركة الشمس الدورانية البطيئة جدا نرى أن ما يصيب الشمس من لحظة وكمية الحركة لا يزيد على 2٪، بينما ترى أن الكواكب خاصة العملاقة منها(المشتري) يبلغ نصيبها من لحظة وكمية الحركة 98٪».

وهكذا بدت فرضية كانت ولابلاس عاجزة عن تفسير هذا التناقض. وفي بداية القرن العشرين بدأ البحث عن فرضيات جديدة تفسر هذه المعضلة. وكانت إحدى هذه الفرضيات هي التي جاء بها عالم الفلك الإنجليزي جينيس، والذي عرج ثانية على مقولة بيوفون القائلة إن الكواكب قد صنعت من شظايا مادة الشمس، التي اجتثت منها ليس بسبب صدم مذنب هائل، وإنما بسبب مرور نجم ضخم قرب الشمس. ولقد جاء كل من العالمين الأمريكيين ف. مولتون (فلكي) وتشمبرلين (جيولوجي) بفرضية مشابهة مفادها أن الغازات تنطلق من الشمس نتيجة لعمليات مد عنيفة سببها مرور نجم كبير. وفيما بعد تتكاثف الغازات كويكبات أولية أو نوى كويكبية ثم تتطور لاحقا إلى كويكبات صغيرة ومن ثم إلى كواكب حقيقية ككواكب المجموعة الشمسية. لم تلق هذه النظرة الرواج العلمي المناسب وسط الفلكيين مع أن بعضا من مقولاتها أكدته البراهين والمعطيات العلمية.

لقد شارك العالم السوفييتي أو. يو. شميث في حل مسألة توزع لحظة

(*1) ف. ن. جاركوف، بنية الأرض الداخلية والكواكب، موسكو 1983.

وكمية الحركة، معتمدا على فرضية ترى أن كتلة الشمس قد اقتنصت من الفضاء وسحابة غازية غبارية سحبية. وتكاثفت هذه فيما بعد مكونة الكواكب الشمسية. إن الأمر الإيجابي في هذه الفرضية والذي طور لاحقا من قبل تلامذته إيجاد موديل (أنموذج) عملية تكاثف وتجمع السحب الكونية ثم تطورها إلى مرحلة الكواكب. ونلاحظ في الفرضيتين أن مواد السحابة الكونية كانت باردة في البدء خلافا لما جاء به لابلاس، ولكنها تتطابق مع رأي كانت.

في العقدين الأخيرين من هذا القرن ونتيجة للتطور العلمي الكبير الذي شهدته علوم الفيزياء والرياضيات والفلك اتضح كثير من جوانب مسألة نشوء المنظومة الشمسية والتي كانت غامضة سابقا. وكأننا عدنا إلى ماجاء به كانت في زمن سابق. لقد تمكن علماء الفلك من مباشرة مراقبة وملاحظة عمليات ولادة النجوم من الهيولى الغازية الغبارية الموجودة بين النجوم. وقد تبين أنه بالإمكان تكون النجوم نتيجة للتأثيرات المتضادة بين الساحات المغناطيسية وضغط الغازات وعمليات الإشعاع الغازية المنطلقة من المناطق الحدودية الموجودة في أذرع المجرات الحلزونية ومن المجرة التي تنتمي إليها شمسنا وأرضنا.

قد يكون انفجار نجم حديث جدا حافزا لإثارة الغازات السحابية الموجودة بين النجوم مما يؤدي في النهاية إلى انضغاط هذه السحب وبدء تمركزها حول نوى تمركز أساسية. ويشير إلى ذلك احتواء المنظومة الشمسية العناصر الثقيلة والثقيلة جدا. ومن ضمنها النظائر المشعة قصيرة العمر. ولكن يمكن أن تكون هذه النظائر نتاج تفاعلات نووية عظيمة لا تحدث إلا عند انفجار نجوم كبيرة وتتحول بعد ذلك إلى نجوم أصغر حديثة جدا.

وهكذا عندما وصلت الشمس إلى حجم وبُعد معين بدأ في جوفها ظهور عمليات حرارية نووية تحولت نتيجة لها عناصر الهيدروجين إلى هيليوم. والنجوم المشابهة تفقد جزءا من موادها على شكل ريح نجمية (ريح شمسية عند الشمس). وبالواقع نشاهد نجوما محاطة بطوق سحابي غازي غباري كثيف يشبه الطوق الذي يحيط بكوكب ساتورن. هذه السحابة الغبارية الغازية تتعرض مع الزمن للتكاثف ثم تتطور تدريجيا إلى الكواكب المعروفة وتوابعها. وعليه نجد أن السحابة الأولية التي كانت محيطة بالشمس

والشمس بحد ذاتها كانت تدور بسرعة، إلا أنه تدريجيا وبتأثير من القوى المغناطيهيدروالحركية أخذت سرعة الدوران بالتباطؤ وتم نتيجة لذلك توزيع لحظة كمية الحركة في المنظومة الشمسية بالشكل الذي هي عليه الآن. وبهذا الشكل نجد أن تعرُّف القوى المغناطيسية في المجموعة الشمسية قد مكنت العلماء من التغلب على التناقض الموجود في فرضية كانت ولابلاس. أما الطريقة الأخرى التي تم التغلب فيها على هذه المعضلة فتتمثل في عملية نقل وإعطاء لحظة وكمية الحركة من الشمس إلى الكواكب المحيطة بها.

وهكذا فإن لوحة تشكل المنظومة الشمسية الأكثر احتمالا الآن تتضمن المراحل التالية[*2]:

1- تكونت الشمس والسحابة الكثيفة التي تدور حولها من سحابة غازية غبارية تنتشر بين النجوم، وربما بسبب تأثير انفجار نجم حديث جدا قريب من الشمس.

2- استمر تطور الشمس والسحابة المحيطة بها، واستمر كذلك نقل كهرمغناطيسية الحركة بوساطة العمليات الإلكترومغناطيسية أو عن طريق الحركات الزوبعية المضطربة من الشمس إلى الكواكب الأخرى.

3- تكاثفت الهيولى الشمسية على شكل حلقة حول الشمس وهذه تحولت لاحقا إلى نوى كويكبية (شكل 1).

4- تحولت النوى الكويكبية إلى كويكبات ثم إلى كواكب كبيرة حقيقية.

5- تكررت العمليات السابقة حول الكواكب وظهرت بطريقة مشابهة توابعها.

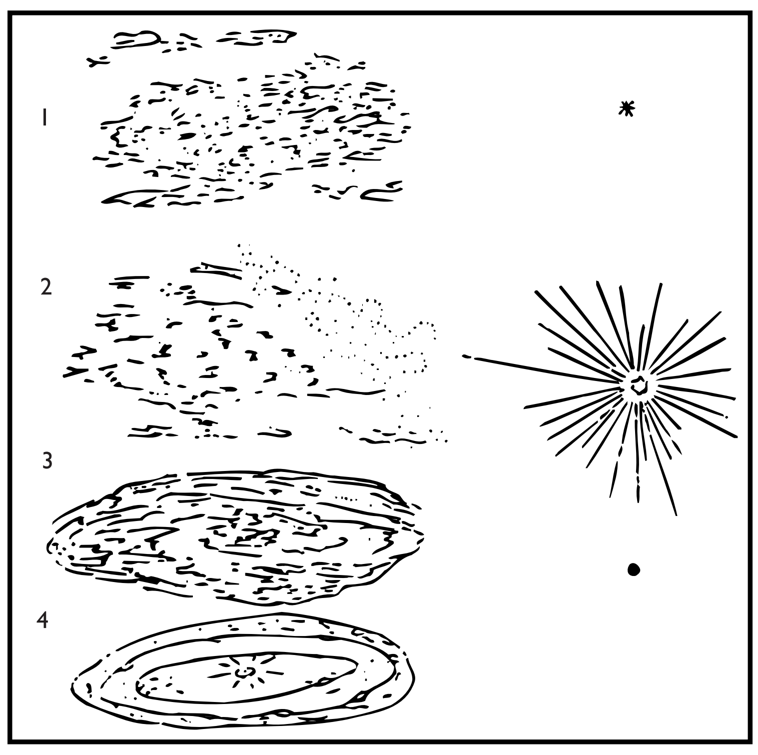
لقد تم تحقيق هذه الأطوار بسرعة فائقة مقارنة مع التطور اللاحق الذي اعترى الكواكب وبزمن قياسي لا يتجاوز المئة مليون سنة.

لقد فقدت الكواكب الداخلية (الأقرب للشمس) العناصر الكيميائية الخفيفة لقربها من الشمس (تسخن بسبب الرياح الشمسية)، لذا فإنها تكونت أساسا من مواد ثقيلة حديدية سيليكاتية صخرية السمات. ومن هنا نجد أن غلافها الجوي الأولي قد اختفى وظهر مكانه غلاف آخر يختلف عنه ويحتوي على عناصر مادية وغازية أثقل من الأوكسجين والأزوت.

(*2) ف. أ. ياكوشفا وسواه، الجيولوجيا العامة، موسكو 1988

وبالطبع قد شاركت أعماق الأرض وخاصة طبقة المانتيا السميكة بهذه العملية. وذلك إما عن طريق الاندفاعات البركانية (وهو الأساس) أو بوساطة ارتفاع مواد المهل (الماغما) ببطء نحو الأعلى وانطلاق المركبات والعناصر المختلفة نحو السطح والغلاف الجوي. لقد بدأ تشكل الغلاف الجوي منذ (4,4) مليار سنة وظهرت المياه على الأرض قبل الكواكب الأخرى، وفي المريخ المياه في حالة التجمد.

أما الكواكب الخارجية الأبعد عن الشمس وكذلك توابعها فإنها تتألف بصورة أساسية من الجليد والغازات الخفيفة المتجمدة ومن الهيدروجين والميثان والأمونياك... إلخ.



الشكل(١)

مراحل تطور السحابة الغازية الأولى المكونة لكواكب المجموعة الشمسية

لقد افترض العلماء سابقا، على أن الكواكب الأرضية الداخلية ومنها الأرض كانت مكونة في البدء من مزيج حديدي سيليكاني، ثم تلا ذلك فرز وانقسام هذه المواد إلى نواة حديدية وغلاف سيليكاتي يحيط بها (طبقة المانتيا). ولكن الصخور القديمة التي رافقت تشكل المراحل الأولى للأرض قد أوضحت أن النواة الخارجية المصهورة موجودة منذ ثلاثة مليارات ونصف من السنين. ولقد أصبح في السنين العشر الأخيرة واضحا للمختصين واقع جديد مفاده أنه في بداية تشكل الأرض قد تجمعت المواد الصعبة الذوبان العائمة والمؤلفة بشكل رئيسي من الحديد والموجودة بكثرة في أعضاء المجموعة الشمسية الأرضية، وفيما بعد التحمت والتصقت بالمواد الحديدية المواد والمعادن الأسهل ذوبانا والمؤلفة بالدرجة الأولى من المواد السيليكاتية[*3]. وتعرف هذه الطريقة لتشكل طبقات الأرض بالطريقة المتباينة التركيب، وهي عكس النظرة السابقة القائلة بالطريقة المتجانسة التركيب. وعليه استنادا إلى الطريقة الأولى بدأ تنامي المواد المؤلفة للأرض مرحلة إثر أخرى.. وهناك نظرة يمكن أن تسمى بالمتوسطة، وترى أنه قد تجمعت في البداية النواة الداخلية ثم ظهرت لاحقا النواة الخارجية بسبب عمليات الفرز والتمايز الثقلي للمواد الأرضية. يرتبط بالمسألة السابقة (منشأ الأرض) مسألة أخرى هي درجة تسخن الأرض والكواكب الأخرى في المراحل الأولى لتشكلها. وما يمكن تأكيده هنا أنه حتى ولو أن الأرض قد ولدت باردة، فإنها ستتسخن لاحقا تحت تأثير عوامل وعمليات مختلفة. فإن ارتطام النوى الكويكبية في البدء سيرافقه انطلاق طاقة حرارية، كما أن التمايز الثقلي للمواد في الأرض وظهور النواة لابد من أن يؤدي إلى تجمع طاقة حرارية كبيرة. ويجب ألا ننسى دور المواد المشعة وخمودها في انبثاق الطاقة الحرارية. ومن ضمن هذه المواد اليورانيوم والثيريوم والكاربون والرصاص المشع وكذلك النظائر المشعة قصيرة العمر الأليمونية واليودية... إلخ. وهناك مصدر ثانوي هو قوى الاحتكاك الداخلية لمواد الأرض وسببها قوة المد القمرية التي كانت في البدء أكثر قوة من الآن لأن القمر كان أكثر قربا من الأرض.

أما ما مقدار درجة حرارة الأرض في البدء وما الآثار التي ترتبت على

(*3) م. يا. ماروف. كواكب المنظومة الشمسية. موسكو. ناؤوكا. 1986

هذه الحرارة بالنسبة للأرض، فإنها مسألة يصعب الإجابة عنها، لذا نرى أن التقديرات قد تنافرت بشدة، إذ يرى البعض أن حرارة المانتيا قد بلغت 1500 درجة. ويعتقد آخرون أن حرارة الجزء الخارجي لكوكب الأرض قد تكون قريبة من حرارة ذوبان المعادن[*4].

وهناك من يعتقد أنه ربما ظهرت بحار من المهل (الصخر المذاب) فوق سطح الأرض كما في القمر، ومنه تشكلت القشرة الأرضية البازلتية الأولية. ولكن الأمر الأكثر احتمالا في المراحل الأولى لتشكل الأرض ظهور النواة ثم المانتيا ومنها القشرة الرقيقة المصهورة نسبيا المعروفة باسم استينوسفير (غلاف الانقطاع) Astenosphere ومنها انطلقت المواد المهلية خاصة في أماكن سقوط النيازك الكبيرة وهنا تشكلت بحيرات أو بحار المهل.

إن نظرة سريعة إلى مختلف الفرضيات التي وردت في منشأ الأرض، ترينا أن الأرض إما كانت ساخنة منذ البدء أو أنها تتسخن باستمرار. والمحصلة واحدة هي امتلاك باطن الأرض لطاقة حرارية هائلة هي المسبب الأهم لظهور الهزات الأرضية، ولكل التبدلات في مظهر القشرة وحركاتها عبر العصور الجيولوجية.

ماذا في باطن الأرض؟

هب أن الزلازل قد توقفت فجأة في الأرض، وأننا لم نعد نصادف زلازل مدمرة ولا حتى هزات خفيفة. وهب كذلك أن الأرض قد خلت من الانهدامات والتصدعات والحركات البنائية بمختلف مقاييسها. ماذا سيجري لو تم هذا الأمر؟ بالتأكيد ستكون العواقب وخيمة. فخلال مليون ونيف من السنين ستحول المياه والرياح المناطق الجبلية إلى ركام سينقل إلى الأماكن المنخفضة وإلى البحار والمحيطات بشكل خاص فتتراكم هناك مكونة طبقات تراكمية وترسيبية سميكة فتتناقص فروق الارتفاع بين المرتفعات والمنخفضات، وتدريجيا سيتحول سطح الأرض إلى سهول وأشباه سهول وستتناقص أعماق البحار والمحيطات. وسيتبدل وجه الأرض تماما عما هي عليه الآن. ومع الزمن سيغرق وجه الأرض بغبار الفتات الصخري وتخلد الأرض إلى الموت والسكينة فتخمد.

(*4) ف. ن. جاركوف. بنية الأرض الداخلية والكواكب. موسكو ناؤوكا. 1987.

لحسن الحظ، أن مثل هذا الأمر لن يحدث، وذلك لأن أرضنا حية وليست جثة هامدة. تتنفس من أعماقها وتتحرك مغيرة بذلك معالم سطحها باستمرار، فتعلو جبال وتنخفض سهول وتتشكل فجوج سحيقة على سطح الأرض، وفي أعماق المحيطات وتثور براكين وتظهر جزر وتغور أخرى وتهتز الأرض وتميد الجبال. كل ذلك يحدث ويجري باستمرار وبلا انقطاع. وهكذا نرى أن مملكة الإنسان قلقة دائما لا تعرف الهدوء أبدا، وذلك لأنها حية تمتلك الطاقة الحرارية في أعماقها التي تتحول بيسر إلى قوة دفع وإلى حركة تؤثر في النهاية في سطح الأرض مؤدية إلى تشققه وتحركه وزحزحته، وقد تتقارب أجزاء وتتباعد أخرى، وتتسع مساحات وتتكمش أخرى، ويتحرك مركزا القطبين باستمرار فيحدث مايحدث من تبدلات مناخية ونباتية وحيوانية على سطح الأرض.

إن لما ذكرناه آنفا ارتباطا مباشرا وحيويا بباطن الأرض وما يحتويه من صخور ومعادن ومواد وما يتضمنه من طبقات سميكة لكل منها سماتها الفيزيائية والكيميائية المميزة فما واقع باطن الأرض، وما دوره في تشكل وظهور الزلازل؟

إن أهم ما يميز بنية الأرض الباطنية هو تباين خصائصها الفيزيائية والكيميائية وظهور الطبقات الصخرية والمعدنية المختلفة، بدءا من مركز الأرض وحتى سطحها الخارجي. لقد اعتمد في تعرُّف مكونات وخصائص باطن الأرض على الطرق والوسائل الجيوفيزيائية خاصة الأمواج الاهتزازية التي تطلقها الهزات الأرضية، أو التفجيرات النووية وسواها. ولقد لوحظ تباين سرعة الأمواج الاهتزازية الطولية والعرضية ضمن الكرة الأرضية وذلك تبعا لتباين طبيعة المواد التي تكونها وحسب درجة صلابتها وليونتها. فالأمواج الطولية (P) يمكنها أن تخترق كل الأوساط الطبيعية داخل الأرض وخارجها (صلبة ـ سائلة ـ غازية). أما الأمواج العرضية (S) فلا تتغلغل إلا في الأوساط الصلبة. ولهذا الواقع أهمية علمية وتطبيقية كبرى، وذلك لأن طبيعة ولوج هذه الأمواج الأرض وتباين سرعاتها قد ساعدت على التعرف وبدرجة جيدة من الصحة على واقع باطن الأرض ومم يتكون.

انطلاقا مما ذكرناه سابقا تم تعرّف طبقات الأرض (الأغلفة) المختلفة. ولوحظ وجود اختلافات مهمة في سمات هذه الأغلفة كيميائيا وفيزيائيا

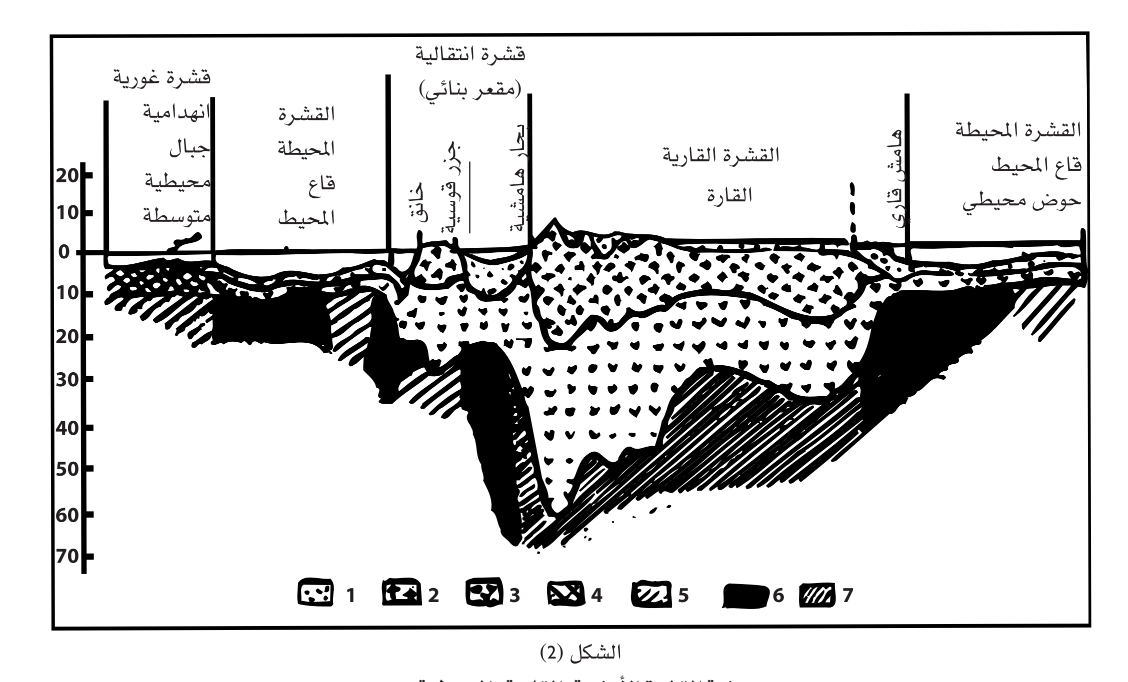
ومعدنيا. وكل التباينات المذكورة ساعدت على زيادة التفاعلات الباطنية التي انعكست بقوة على كل أنحاء الأرض. وعليه تم تعرف ثلاثة أغلفة رئيسية تنفصل عن بعضها البعض بسطوح انفصال وأشرطة نطاقية انتقالية تتسم بتبدلات فجائية وكبيرة في سرعة الأمواج الاهتزازية، مما يشير إلى الانتقال من وسط فيزيائي إلى آخر. وهكذا نميز في الأرض الأغلفة الأرضية التالية(*5):

1 - القشرة الأرضية

استنادا إلى المعطيات الزلزالية والجاذبية تم التفريق بين جزءين أساسيين في القشرة الأرضية الصخرية هما: القشرة القارية والقشرة المحيطية (شكل 2). ومن الملاحظ أن سماكة القشرة الصخرية تختلف بشدة من منطقة إلى أخرى. فهي لا تزيد على 30-40 كم في المناطق السهلية، بينما تصل إلى 50-50 كم في المناطق الجبلية (طوروس، القفقاس، تيان شان، الألب) وفي بعض السلاسل الجبلية العملاقة كهيمالايا وبامير وهندكوش قد تصل إلى 75-80 كم. ومن الملاحظ أن للجبال جذورا عميقة تتغلغل في طبقة المانتيا، فتساعد بذلك على تثبيت الكتل الجبلية في الأعلى وعلى الإقلال من سرعة حركة القشرة الأرضية وحقا يمكن القول: ﴿وجعلنا الجبال أوتادا﴾ ومن الملاحظ أن عمق جذور الجبال يزيد على ارتفاعها فوق سطح البحر بشكل كبير قد تصل إلى عشرة أضعاف أحيانا.

لقد تم التعرف الآن على ثلاث طبقات ضمن القشرة القارية: العليا وتتراوح سماكتها بين 2 ,10 كم وتتألف من صخور قليلة الكثافة 2 ,2 غ/سم^3 هي الصخور الرسوبية وتتراوح سرعة الأمواج الاهتزازية الطولية مابين 5, 0 و8, 1 كم/ث. وإلى الأسفل منها الطبقة الثانية وهي أكثر كثافة 4 ,2 ـ 6 ,2 غ/سم^3 وسرعة الأمواج الطولية 5-2 ,6 كم/ث أما سماكتها فتتأرجح بين 10 و20 كم وتتألف من صخور الغرانيت خاصة والغنيس ومن مواد أخرى بركانية ومتحولة. وكثيرا ماتظهر هذه الصخور الغرانيتية على السطح مكونة الدروع الصخرية كما في حوض البحر الأحمر. وعموما تغطي الطبقات الرسوبية الجزء الأكبر من القاعدة الغرانيتية. أما الطبقة الدنيا

(*5) م. غورباتشوف، الجيولوجيا العامة، موسكو 1981.



الشكل (2)

بنية القشرة الأرضية: القارية والمحيطية

ا- طبقة رسوبية متحدة في المحيطات مع الطبقة الثانية، 2- طبقة الغرانيت 3- طبقة البازلت. 4- تمازج بازلتي وصخور الوشاح العليا، 5- طبقة وشاح قليلة الكثافة. 6- طبقة وشاح عليا كبيرة الكثافة. 7- طبقة وشاح عليا مؤلفة غالبا من صخور إيكلوغية.

الثالثة في القشرة القارية فإنها ذات كثافة تبلغ 8 , 2-3 , 3غ/سم^3 وتصل سرعة الأمواج الطولية إلى 6-6 , 7 كم/ث. الصخور هنا أكثر كثافة وثقلا وتشبه في خصائصها صخور البازلت والغابرو، لذا تعرف بالطبقة البازلتية. وهذا يعني أنها ليست مؤلفة من الصخور البازلتية كاملا. أما سماكتها المتوسطة فتبلغ 15-25 كم، وقد تصل إلى 40 كم. تمثل القشرة الأرضية المحيطية الجزء الثاني من القشرة الأرضية الصخرية، وتتميز عن القارية باختفاء طبقة الغرانيت وبسماكتها الأقل.

ولقد جرت العادة الآن على أن التمييز في القيعان المحيطية ثلاث طبقات صخرية هي: الطبقة الرسوبية، ثم الركيزة ثم الطبقة المحيطية. فالطبقة الرسوبية قليلة السماكة قد لا تزيد على كم واحد وتختفي في الأماكن المنحدرة وذلك عند أقدام القارات. نجد تحت الطبقة السابقة طبقة أخرى تبلغ سرعة الأمواج الطولية فيها 5 , 4-5 , 5 كم/ث وتمثل الطبقة المحيطية الثانية. وتعرف بالركيزة وتتسم بسطح متموج وسماكتها غير متماثلة إذ تتراوح بين كيلومترين وثلاث كيلومترات كما في أواسط وهوامش المحيط الهادي. وتتكون الطبقة بشكل أساسي من صخور البازلت التي تدفقت على قاع المحيط وكثيرا ما تتخللها الصخور الرسوبية ولا تكون غطاء كاملا مستمرا. أما الطبقة الثالثة أي المحيطية فإنها الأكثر تجانسا وتصل سرعة الأمواج الطولية فيها إلى (35 , 6 -7 , 6 كم/ث ولا تزيد سماكتها وسطيا على خمسة كيلومترات وتصل أحيانا كما في المحيط الهادي إلى 7-9 كم. ويعتقد أنها مؤلفة من صخور حامضية كالغنيس والغرانيت وأخرى قلوية كالسربنتين والغابرو.

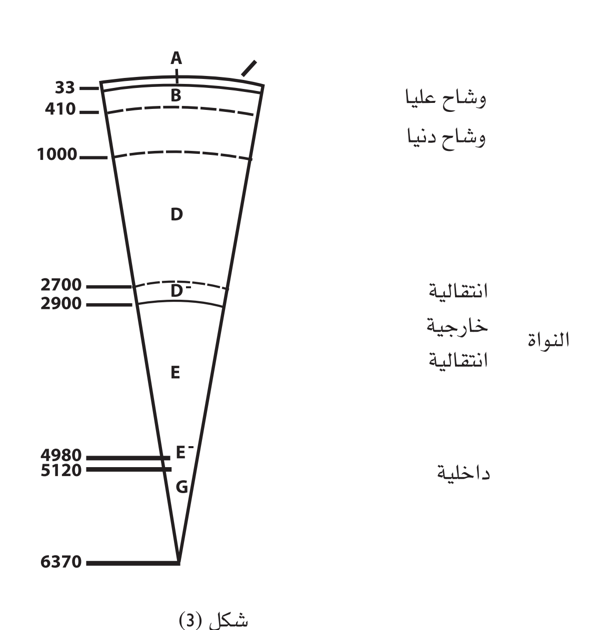
وهكذا نرى الفروق الكبيرة بين خصائص القشرتين القارية والمحيطية، ورغم أن الأخيرة أقل سماكة فإنها الأكثر ثقلا وكثافة، لذا فإنها كثيرا ماتغوص تحت القارية مؤدية إلى ظهور نطاقات زلزالية عنيفة كما في اليابان والتشيلي.

2ـ الوشاح (الغلاف المتحجر) معطف أو ستار الأرض

يقع تحت القشرة الأرضية الصخرية وتمتد حتى عمق 2900 كم داخل الأرض. ويقسم اعتمادا على تباين سرعة الأمواج الاهتزازية إلى جزءين

العلوي ويتضمن شريحتين (B,C) وتمتدان حتى عمق 900-1000 كم. أما الجزء السفلي فيقع بين نقطتي العمق 900-1000 و2900 كم (الشكل 3).

وتدل المعطيات المباشرة عن المانتيا العليا والمعطيات المخبرية أن المانتيا متباينة التركيب وتبرز فيها الصخور والمركبات القلوية والعالية القلوية مثل البازلت والغرانات والبيروكسين والأوليفين.



شكل (3)

طبقات الأرض

A	القشرة الأرضية	
B-C	الوشاح: العليا	
D’-D”		الدنيا
E	النواة: الخارجية	
F	الإنتقالية	
G	الداخلية	

3- النواة

تقسم بدورها إلى قسمين، خارجي (E) ويمتد حتى عمق 4980كم وهناك شريط انتقالي على عمق 4980 - 5120 كم وبعد ذلك تبرز النواة الداخلية (G) وتقع تحت عمق 5120 كم وحتى مركز الأرض 6370كم. يظن أكثر العلماء حاليا أن النواة مؤلفة أساسا من الحديد مع مزيج من النيكل والكبريت(6*).

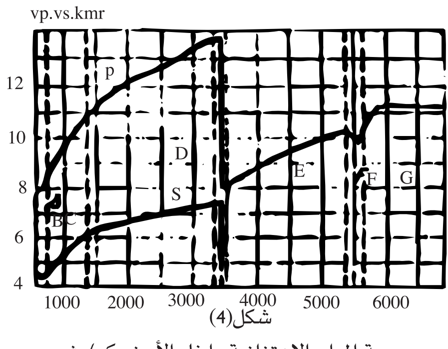
يجب أن نذكر أن سرعة الأمواج الطولية (P) في أسفل القشرة الأرضية تبلغ وسطيا 5, 6 - 7 وحتى 4, 7 كم/ث. أما العرضية فتبلغ 7, 4 -8, 3 كم/ث ويلاحظ أن القشرة الأرضية تنفصل عن طبقة المانتيا غالبا بحد اهتزازي واضح جدا تصل سرعة الأمواج الطولية فيه إلى 9, 7-8 كم/ث وتزيد في بعض الأماكن على هذا الرقم. والأمواج العرضية بحدود 5, 4-7, 4 كم/ث. ويعرف هذا الحد المتسم بسرعة أمواج عالية بسطح (M) نسبة للعالم موخوروفيتش اليوغسلافي. وهذا السطح هو الذي يفصل بين القشرة الأرضية وباطن الأرض. ولقد تم بوساطة الأمواج الزلزالية تحديد شريحة (أفق) ثانية مهمة جدا بالنسبة للبراكين والهزات الأرضية تعرف باسم الطبقة الضعيفة أو الرخوة أي Astenosphere وهي أكثر ليونة وأقل صلابة من القشرة الأرضية والمانتيا. ومما يؤيد ذلك تباطؤ سرعة الأمواج الاهتزازية ضمنها. كما أن الناقلية الكهربائية تزداد هنا، مما يشير إلى وضع خاص تعيشه المادة هنا. كما أن لزوجة الطبقة أقل بكثير من الطبقات الأعلى والأدنى. وعمقها متباين يقع بين 80 و120 كم في بعض الأماكن و200-250 كم في أماكن أخرى. تحت القارات، بينما أكثر من ذلك تحت المحيطات 300 - 400 كم. تتوضح الطبقة جيدا في أماكن وجود الزلازل والبراكين وقد لا يزيد عمقها على 20-25 كم. ولكنها أعمق بكثير في الأماكن الخالية من الزلازل. ويفسر انخفاض سرعة الأمواج الطولية والعرضية في الطبقة الضعيفة بذوبان جزئي لهذه الطبقة قد يصل إلى 10٪ من حجمها، وذلك بسبب التزايد السريع لدرجات الحرارة مع العمق ولارتفاع قيم الضغط بوتيرة أقل من تزايد الحرارة(7*).

كما أن لزوجة الطبقة الضعيفة لا تشبه الطبقات المجاورة وتختلف

(6*) Jhon, Hedgson. Earthquakes and Earth Structure.

(*7) غ. ف. فويتكيفنج: تطور كيمياء المظومة الشمسية موسكو. ناؤوكا 1979.

سماكتها أفقيا كذلك. ونتيجة لهذا الواقع نرى أن لهذه الطبقة دورا مهما في ظهور البراكين وتشارك بفعالية في عمليات تحرك القشرة الأرضية التي تعلوها وتساعد بذلك على ظهور الهزات الأرضية. ويلاحظ أن سرعة الأمواج الاهتزازية تزداد بشكل كبير تحت الطبقة المذكورة، إذ تصل على عمق 900 - 1000 كم إلى 6, 13 كم/ ث بالنسبة للأمواج الطولية و2, 7 - 3, 7 كم/ث بالنسبة للعرضانية. وعند العمق 2900/كم نجد سطحا انتقاليا آخر تهبط فيه سرعة الأمواج الطولية إلى 1, 8 كم/ث. ولكن تبدأ بعد ذلك السرعة بالتزايد التدريجي في طبقة النواة الخارجية فتصل إلى 4, 10- 10, 5 كم/ث ولكنها تهبط ثانية في الطبقة الانتقالية (F) الواقعة بين النواتين الخارجية والداخلية فتصل إلى أقل من 10كم/ث، ولكنها لا تلبث أن تتزايد من جديد في النواة الداخلية (G) وتصل إلى 2, 11 - 3, 11 كم/ث. ويجب أن نشير إلى أن الأمواج العرضانية تختفي بعد عمق 2900كم. أي عند حدود النواة الخارجية . (شكل 4).



شكل(4)

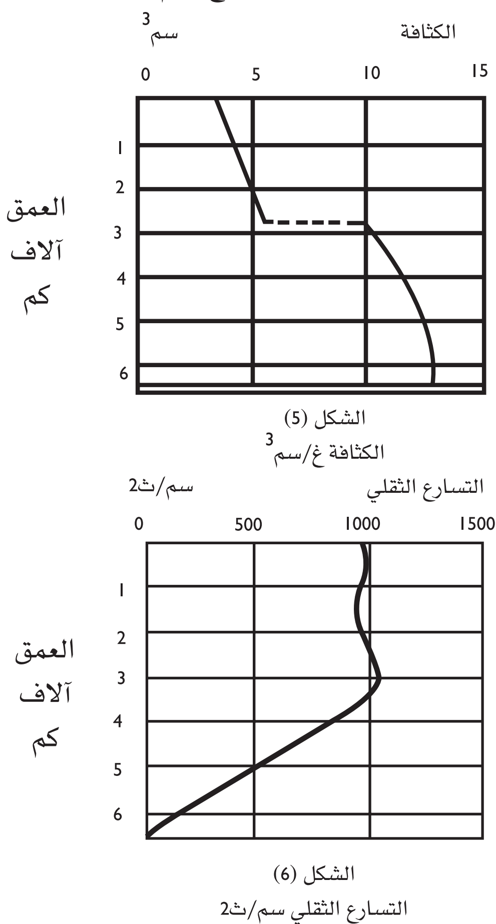
سرعة المواج الاهتزازية داخل الأرض كم/ث

P = طولية S = عرضية

وهكذا نجد مما سبق وجود طبقات متتالية مختلفة الصلابة والسيولة وذات سرعات موجية اهتزازية متباينة. ولهذا الواقع دور مهم في حركة المواد ضمن الأرض وتؤثر الحركة المذكورة في استقرار القشرة الصخرية الأرضية، وكثيرا ما تمثل السبب المباشر لانسياح الكتل القارية ولحدوث الزلازل.

الكثافة والضغط في باطن الأرض

تعادل كثافة الأرض المتوسطة 52 ,5 غ/سم^3. أما كثافة القشرة الصخرية الأرضية فإنها تتراوح بين 5 ,2 و3 غ/سم^3 ووسطيا 8 ,2 غ/سم^3، وإذا ما قارنا هذا الرقم الأخير مع وسطي كثافة الأرض يمكن القول إن قيم الكثافة في أعماق الأرض أكبر بكثير. وبالواقع بعد السطح (M) ترتفع الكثافة المتوسطة إلى 4 ,3 غ/سم^3 وتتوقف على عمق 2900 كم عن 6-5 غ/سم^3. وعند الانتقال من الغلاف المانتي إلى النواة تقفز الكثافة إلى 11-5 ,11 غ/سم^3، بينما لا تقل في النواة الداخلية عن 5 ,12-13 غ/سم (شكل 5-6).



الشكل (5)
الكثافة غ/سم^3

الشكل (6)
التسارع الثقلي سم/ث2

واستنادا إلى ماسبق نرى تزايدا مطردا في قيم الكثافة داخل الأرض[*8]، ولكن توجد مناطق كثافة انتقالية تختلف عن الصورة العامة لتزايد الضغط مع الاقتراب من مركز الأرض. كما هو مبين في الجدول التالي:

الجدول (1)

العمق كم	40	100	400	1000	2900	5000	6370
الضغط مليون باسكال	$1*(10)^3$	$3,1*(10)^3$	$14*(10)^3$	$35*(10)^3$	$137*(10)^3$	$312*(10)^3$	$361*(10)^3$

وكذلك نجد أن تسارع الثقالة يختلف بوضوح فيبلغ عند السطح الخارجي للأرض 982سم/ث^2 وتصل إلى 27 , 10/ث^2 في أسفل طبقة المانتيا، إلا أن قيمة التسارع تهبط بسرعة مع الاقتراب من نواة الأرض، ففي الطبقة (F) تعادل 452 سم/ث^2 وعلى عمق 6000 كم لا تزيد على 126 سم/ث^2 وتبلغ الصفر في مركز الأرض 6370 كم.

المغناطيسية

تمثل الأرض كرة مغناطيسية هائلة تحيط بها قوى الساحة المغناطيسية. والساحة ثنائية القطبين وهما الآن قريبان جدا من نقطتي القطبين الجغرافيين الشمالي والجنوبي. لقد تم تعرف صخور قديمة ممغنطة تحتوي على الحديد الممغنط، ووجد أن اتجاه انتشارها يتفق مع اتجاه القطبين المغناطيسيين آنذاك.

وهذا يشير إلى أن الساحة المغناطيسية للأرض قد تبدلت خلال العصور الجيولوجية مرات عديدة. إذ أصبح القطب الشمالي جنوبيا والعكس، أي تم حدوث مايعرف بانقلاب الساحة المغناطيسية للأرض. وتشير الدراسات الحديثة إلى وجود دورية في تبدل مركزي القطبين المغناطيسيين، وبالطبع ستؤثر هذه الدورية في حركة وزحف القارات. وهذه التبدلات ستنعكس على توزع مراكز الزلازل في القشرة الأرضية إذ إنها ستتبدل من دورة إلى أخرى.

(*8) م. م. جوكوف. أسس الجيولوجيا، موسكو 1973.

حرارة الأرض

تتلقى الأرض الطاقة الحرارية من مصدرين الأول الشمس وهو الأساس بالنسبة للجزء الأعلى من القشرة الأرضية وبعمق لا يزيد على 28-30 م وسطيا. وبعد ذلك يبرز دور المصدر الثاني وهو الطاقة الحرارية لباطن الأرض. وتبدأ فعالية هذه الطاقة بالظهور بعد خط الحرارة الأرضي الثابت الذي تعادل حرارته المتوسط الحراري السنوي لمكان ما على سطح الأرض. ففي باريس يبلغ عمق هذا الخط 28م وتعادل حرارته 11,23 درجة وهو متوسط الحرارة السنوية لمدينة باريس. وفي موسكو تبلغ حرارة هذا الخط 4,2 درجة ويقع على عمق 20م. تأخذ بعد هذا العمق (الخط المتوسط) حرارة الأرض بالتزايد باستمرار، وذلك بسبب تأثيرات التيارات الحرارية المنبثقة من باطن الأرض. وتختلف شدة التزايد الحراري من منطقة إلى أخرى. فالمناطق الهادئة زلزاليا وحركيا تزايد حرارتها ضعيف نسبيا. أما في المناطق الزلزالية والبركانية وقرب الصدوع الكبيرة ومناطق الخفس والانهدامات، فالأمر خلاف ذلك. وتقاس شدة التيار الحراري بالحريرات (السعرات) المتدفقة من سم^2 واحد في ثانية (حريرة/ سم^2/ث). وتصل شدة هذا التيار في الأماكن الهادئة زلزاليا كالقواعد القديمة والدروع القارية إلى (0,9 - 1,2 مك. ك. سم^2. ث). أما في المناطق الجبلية فقيمها متبدلة إذ تقل عن السابق في بعض الأماكن، ولكنها قد تبلغ 2 - 4 مك. ك في أماكن أخرى. ومن الملاحظ أن قيمه في قيعان المحيطات قريبة من القشرة الصخرية القارية أي بمعدل 1,1 - 1,2 مك. ك، ولكن في مراكز المناطق الانهدامية وسط السلاسل المحيطية قد تزيد على (2 مك. ك) وفي بعض الحالات قد تبلغ 6-8 مك. ك وهي عموما مرتفعة في وسط البحر الأحمر الانهدامي وهي قريبة من الرقم السابق. وبالنسبة للأرض عامة تصل قيم التيار الحراري الباطني للأرض إلى 1,4 - 1,5 مل. ك سم^2. ث.

أما مصدر الحرارة فإنه محط خلاف كبير بين العلماء إلا أن مصدره الأساسي كما يبدو، يرتبط بالنشاط الإشعاعي لبعض العناصر الكيميائية وخاصة اليورانيوم:

اليورانيوم (^{235}U ^{238}U و^{232}Th (ثوريوم) والبوتاس ^{40}K إلخ).

ومن الملاحظ بالنسبة للأرض أن توزع العناصر المذكورة ليس بالمتماثل،

فهي أوفر في الصخور الحامضية الغنية بالسيليس كالغرانيت وأقل في الصخور القلوية (البازلت والغابرو) وتقل هذه عن تلك بعشر مرات تقريبا. ويمكن القول استنادا لما سلف أن القشرات القارية الأغنى بالغرانيت أغنى حراريا من القشرة المحيطية البازلتية. ولكن في الواقع لا توجد فروق كبيرة بين القشرتين. ويفسر العلماء هذا التناقض بأن الطاقة الحرارية تنتقل من باطن الأرض إلى القارات بوساطة النقل الحراري الإلكتروني الانشطاري الجزيئي. أما في قيعان المحيطات نرى إضافة لما سبق نقلا حراريا تياريا تصاعديا يرمم قيم الفروق في المواد المشعة بين القشرتين المحيطية والقارية. ونتيجة لما ذكرناه نرى أن خط الحرارة المتساوي 1500 يقع تحت المحيطات على عمق 100 كم، بينما يصل عمقه إلى 200 كم تحت القارات، مما يعوض نقص المواد المشعة في القشرات المحيطية.

إن المصدر الآخر للحرارة عمليات الفرز الثقيلة للمواد في باطن الأرض، ولكن دورها ثانوي مقارنة بالمصدر الأول[*9].

لقد أشرنا آنفا إلى تزايد درجة الحرارة كلما هبطنا إلى الأسفل من خط الحرارة الثابت. لهذا الواقع أهمية كبرى، إذ يعني أن درجات الحرارة ستزداد باستمرار من السطح إلى نواة الأرض الباطنية، وبالطبع سينعكس هذا الأمر على الأرض كاملا داخليا وخارجيا خاصة على المظاهر الزلزالية والحركات البنائية أي ما يصيب سطح الأرض من مظاهر خفض ورفع وزحزحة.

لقد قاس العلماء تزايد الحرارة في وحدة المسافة المعتمدة وهي 100م وسميت بالغراديان (Gradient) أي التدرج الحراري. كما أنهم قاسوا كذلك مايعرف بالدرجة الحرارية الأرضية. وهي المسافة التي يجب أن نهبطها في أعماق الأرض لتزداد درجة الحرارة درجة واحدة فقط. واعتبرت الدرجة هذه كمقياس حرارة يمكن من خلاله معرفة أي الأماكن أكثر استجابة للزلازل من سواها، لأنه كلما كانت مسافة الدرجة قصيرة كان تزايد الحرارة رأسيا أكبر. وبكلمة أخرى الطاقة الحرارية المخزونة هنا أكبر من الأماكن الأخرى، فهي إذن المرشحة أكثر من سواها للزلزلة.

وهكذا إن الدرجة الحرارية تتباين بشدة من منطقة إلى أخرى. وكذلك

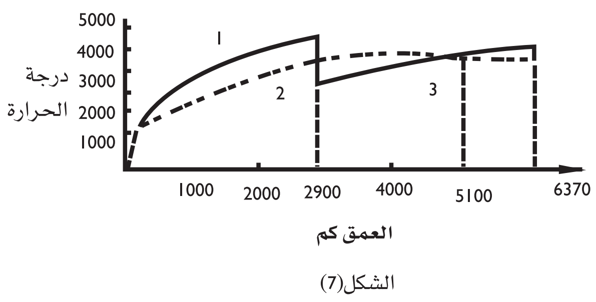
(*9) ف. أ. ياكوشفا وسواها، الجيولوجيا الطبيعية، موسكو 1977.

التدرج الحراري. وهذا الأخير قد يبلغ 150 درجة في الكم الواحد، وتبلغ الدرجة هنا 67,6م كما في ولاية أوريغون في الولايات المتحدة الأمريكية، بينما لا يزيد التدرج الحراري على 6 درجات مئوية في الكيلو متر الواحد كما في جنوب أفريقيا مما يشير إلى أن الدرجة الحرارية هنا لا تقل عن 167م. وهكذا يمكن القول إن التدرج الحراري شديد الفعالية في مناطق الاضطرابات الأرضية وخلاف ذلك في الأماكن الهادئة زلزاليا وبركانيا كما في أقاليم القواعد القديمة الصلبة. وبالنسبة للأرض عامة يبلغ الغراديان أو التدرج الحراري 30 درجة في كل كيلو متر واحد، والدرجة 33م لكل درجة حرارية واحدة. ولكن من المهم أن نشير إلى أن قيمة التدرج الحراري الأرضي المذكورة آنفا لا تنطبق على كل أعماق الأرض، بل إنها تشمل بضع مئات من الكيلومترات العلوية من كتلة الأرض. ولولا هذا الواقع لبلغت درجة الحرارة في نواة الأرض آلاف الدرجات ولانصهرت الأرض كاملا وتحولت إلى غازات هائمة في الفضاء. ومن هنا وجد العلماء أن قيم التدرج الحراري تتناقص كلما تعمقنا في باطن الأرض. وكمثال نرى نظريا أن حرارة الأرض على عمق 100كم يجب أن تصل إلى 3000 درجة. بينما هي في الواقع لا تزيد على 1100-1250 درجة في هذا العمق تتمركز الطبقة الضعيفة التي تحتوي على جيوب مصهورة غنية بالمهل وتعتبر من المراكز الأساسية لتغذية البراكين بالصهارة الصخرية والمعدنية والغازات. ولوتجاوزت الحرارة هنا 1500 درجة لصهرت أكثر الصخور، ولما استطاعت الأمواج العرضية من تجاوز هذه الطبقة. وهكذا نجد أن تزايد الحرارة مستمر نحو مركز الأرض ولكن بتدرج، مما يسمح بتماسك كتلة الأرض. وهذا يعني أنه كلما تعمقنا في الأرض تزداد قيمة الدرجة الحرارية.

انطلاقا من التصور القائل بأن النواة الأرضية مؤلفة بشكل رئيس من المركبات الحديدية وانطلاقا من قيم الضغط الهائلة في مركز الأرض تم التوصل حسابيا إلى الأرقام أو المعطيات التالية:

تصل عند حدود طبقة المانتيا والنواة درجة انصهار الحديد إلى 3700 درجة وعند حدود النواة الداخلية مع العلوية تعادل 4300 درجة، لذا يعتقد أن حرارة مركز الأرض 4000-5000 درجة وبعضهم يرفع الرقم إلى 6000 درجة وهو الأرجح.

لقد انعكس التفاعل بين تزايد الحرارة نحو مركز الأرض وتزايد الضغط في الوقت نفسه على الظروف الفيزيائية للمادة في باطن الأرض (شكل 7). وعليه، نرى أن القشرة الأرضية صلبة ومتبلورة في الأسفل وذلك لأن تزايد الضغط يمنع ذوبان صخور الأعماق. فالحرارة هنا نتيجة لذلك أدنى من درجة ذوبان الصخور، ولكن نصادف في بعض الأماكن وحتى ضمن القشرة الأرضية الصلبة جيوبا تتناقص فيها سرعة الأمواج الاهتزازية بشكل واضح، مما يخولنا بالإيمان بوجود أماكن صهارة صخرية (مهل) وهي بؤر مناسبة لظهور البراكين، إذ تنطلق منها الصخور المصهورة والغازات نحو سطح الأرض الأعلى.



الشكل(7)

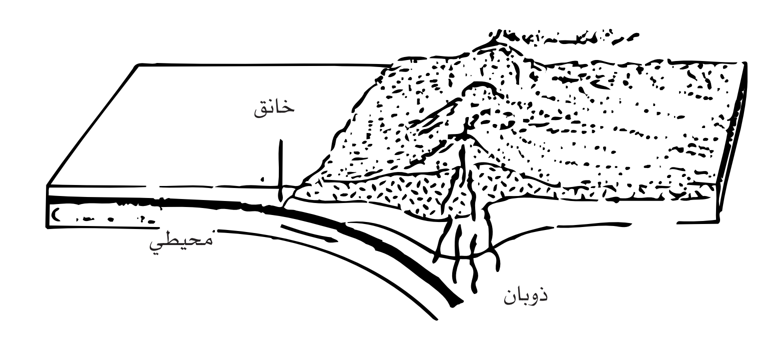
1- حرارة انصهار المواد 2- حرارة الأرض الباطنية

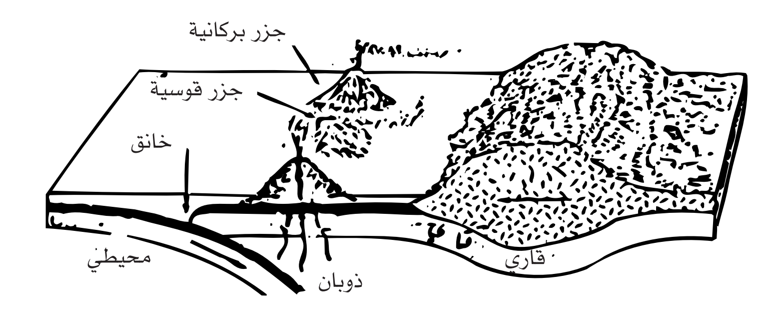
3- منطقة انصهار المواد

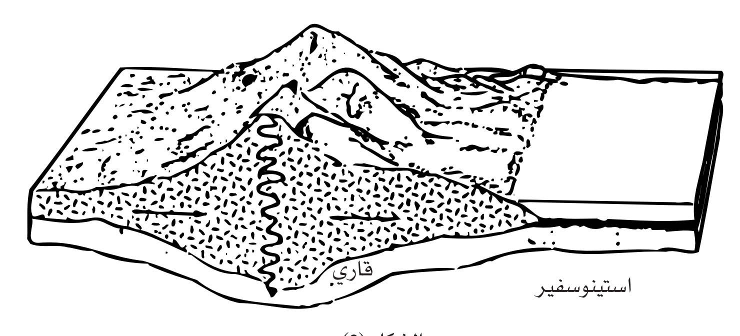
وتشير سرعة الأمواج الاهتزازية بنوعيها الطولي والعرضي إلى صلابة طبقة المانتيا، وذلك لتزايد سرعاتها ضمن الطبقة هذه. ومن هنا يعتقد العلماء أن المواد الموجودة تحت الطبقة (B) وفي الطبقات (C وD) في حالة تبلور، وذلك لأن شدة الضغط هنا تمنع الصخور من بلوغ درجة الانصهار ولا نشاهد تناقصا في سرعة الأمواج الاهتزازية إلا في الطبقة الضعيفة وضمن الطبقة (B) كذلك. لذا يعتقد أن الصخور هنا قريبة من درجةالانصهار، وربما كانت بنية الصخور زجاجية أي أن تبلورها غير واضح، ويعتقد أن قسما منها مصهور فعلا وبنسبة قد تصل إلى 10٪ من كتلة الصخور. وتشير المعطيات الحديثة 1988-1989 إلى أن هذه الطبقة تحتوي على صخور شبه سائلة وأخرى صلبة. أما في نواة الأرض الأمر أكثر

غموضا، ولكن من المعروف أن الأمواج الاهتزازية العرضية لا تخترق النواة العليا، لذا يمكن القول إنها طبقة ليست صلبة ويعتقد أن قسمها العلوي في حالة السيولة. إلا أن تزايد سرعة الأمواج كلما اقتربنا من النواة الداخلية تجعلنا نعتقد تزايد صلابة الطبقة المؤلفة لنواة الأرض (النواة الداخلية). ولقد عبر العالم الأمريكي جيكوبس عن هذا الواقع بالشكل (7) الذي يجعل من طبقة النواة الخارجية طبقة في حالة انصهار نظريا على الأقل، بينما تزداد صلابة الأرض في طبقتي النواة الداخلية والمانتيا، وهذا ما يفسر اختفاء الأمواج العرضية في النواة الخارجية.

وهكذا، إن تناوبا واضحا في بنية الأرض الداخلية سببه اختلاف واقع الظروف الفيزيائية في طبقات الأرض المختلفة. ففي الأعلى القشرة الأرضية الصلبة وتحتها طبقة الاستينوسفير الأكثر ليونة وسيولة، ثم تأتي المانتيا الأكثر صلابة وبعد ذلك النواة الخارجية التي تشبه طبقة الاستينوسفير (الطبقةالضعيفة) في واقعها الفيزيائي (الانصهار) ثم النواة الداخلية الأكثر صلابة. ولكن يجب أن نشير إلى أن طبقتي المانتيا والنواة الداخلية المتصفتين بالصلابة ليستا جامدتين، بل إن المواد فيهما في حركة دائمة بطيئة جدا ولكنها مهمة ويعود ذلك لمرونتها ولحرارتها. ففي طبقة المانتيا تقدر سرعة هذه الحركة ببضع سنتيمترات في السنة. ومن خلال الطبقة الضعيفة الأعلى يصل تأثير مواد المانتيا إلى القشرة الأرضية الصلبة (الصخرية) وغير المتجانسة (الأمر الأهم)، وعليه، فإنها ستستجيب لحركة مادة المانتيا بدرجات مختلفة، وفي كثير من الأقاليم لا يمكنها أن تجاري حركة مواد المانتيا فتتشقق القشرة الأرضية إلى وحدات صخرية كبيرة وتبدأ بالتحرك حسب اتجاه حركة مواد المانتيا، وقد تغور أجزاء من القشرة الصخرية (الأثقل)، فتظهر قيعان المحيطات وتظهر قبالتها القارات وترسم حدود تماس وتفاعل بين القشرتين القارية والمحيطية وهنا تكمن البؤر والمواقع الأساسية للزلازل. (الشكل 8).







الشكل (8)

نماذج التقاء القشرات الارضية: (A) محيطي - قاري (B) محيطي - محيطي (C) قاري - قاري.

2 مسببات الزلازل

لقد رأينا سابقا خصائص الأرض بنية وتركيبا وحرارة، ووجدنا أنها تمتلك طاقة حرارية عظيمة تتحول باستمرار إلى قوة حركة تدفع من خلالها أجزاء الأرض الخارجية باتجاهات متباينة وتحرك في نفس الوقت المواد الموجودة ضمنها بأشكال متعاكسة في كثير من الأحيان ومؤدية بذلك إلى تبدلات دائمة في مظهر القشرة الأرضية، فتارة ترتفع مناطق وتارة تغوص أخرى. ومن هنا تبدأ الزلازل في الظهور، وسنستعرض هذه المظاهر الأخرى بشيء من التفصيل لكي نتفهم حقيقة الزلازل وما هي مسبباتها، ومن ثم يمكن الانتقال إلى آلية حدوث الزلازل وكيفية ظهورها.

لقد كان اهتمام العلماء في أواسط القرن العشرين بدراسة الأحواض المحيطية محدودا لأن وسائل البحث البحرية لم تكن متطورة بشكل مناسب. ولقد قسم العلماء تضاريس القارات إلى وحدتين عملا قتين هما القواعد القارية (Plat Form) وهي الأجزاء الأكثر صلابة في القارات والتي تتميز بندرة زلازلها وبراكينها، أي أنها تعيش فترة هدوء بنائية. ثم الوحدة العملاقة الثانية أي السلاسل الجبلية الالتوائية البنائية المنشأ. ويجب أن نشير

إلى أن الجبال تقسم إلى مجموعتين حسب منشئها: الأولى الالتوائية وهي جبال المقعرات البنائية الضخمة كجبال هيمالايا، والثانية الجبال الكتلية الصلبة غير الالتوائية. ويجب أن نذكر بهذا الصدد أن مناطق الجبال هذه مراكز زلزالية من الدرجة الأولى وبخاصة الالتوائية منها، إذ تتمركز هنا أهم الأقاليم الزلزالية في العالم. كما في مناطق أرمينيا وتركيا وإيران وإيطاليا. وعليه سنتكلم باختصار عن هذه المقعرات.

المقعرات البنائية Geosyn clinal منخفضات عميقة وطويلة جدا تمتد آلاف الكيلومترات تقطع القارات حينا وتحيط بها أحيانا أخرى متجاورة بذلك مع المحيطات(*).

تخضع المقعرات في بداية تشكلها لحركات خسف وهبوط واتساع ثم تتحول في النهاية إلى حركات ضغط جانبية ورفع عنيفة وتحول في طبيعة الصخور من صخور رسوبية إلى صخور متحولة صلبة ممتزجة مع الصخور البركانية القادمة من أعماق الأرض. وفي جميع الأحوال ترافق هذه العمليات سواء الصاعدة منها أو الهابطة حركات اهتزازية عنيفة وبراكين. ويلاحظ أن تطور المقعرات يتسم ببعض الخصائص التي تنعكس بوضوح على فعالية حركات الأرض الباطنية العميقة. ومن هذه السمات نورد:

1- الامتداد الطولي الهائل: فمثلا مقعر البحر الأبيض المتوسط يمتد من إسبانيا غربا وحتى أندونيسيا شرقا. ولكن عرض المقعر أقل بكثير من طوله مما يشير إلى ارتباط المقعر بالتصدعات الأرضية العميقة.

2- أشكال المقعرات مستقيمة طولية وقوسية وحلقية (جبال المحيط الهادي)، مما يعبر عن صلتها بحركات الأرض الباطنية العنيفة التي تتمركز في نطاقات وأشرطة محددة.

3- إنها مناطق انبثاق مهلي شديد، ترتفع من خلالها الصهارة الصخرية إلى القشرة الأرضية، ولذا فإنها تعتبر مراكز طاقة حرارية عظيمة تزيد بثلاث أو أربع مرات على طاقة الأقاليم القاعدية الهادئة زلزاليا.

4- في بداية تكونها احتلبتها بحار غنية بالصخور الرسوبية البحرية، ولكن في مراحل تطورها الختامية تتحول إلى صخور صلبة واندفاعية كما في طرفي البحر الأحمر.

(*) يو. أ. بغدانف وسواه، منشأ وتطور المحيطات، موسكو 1978.

5- سماكة الصخور الرسوبية عظيمة في محور المقعرات وتتناقص نحو الهوامش. وقد تصل سماكتها في المركز إلى 20-25 كم ولا تقل في جنوب العراق عن 16 كم.

6- تتحول كثير من الصخور بسبب ضغط الصخور والحرارة الباطنية العالية إلى صخور من نوع آخر، فالكلس يتحول إلى مرمر والحجر الرملي إلى كوراتزيت، وتظهر صخور متبلورة ومتحولة عادية كالغرانيت والغنيس... الخ. وهذا يعني أن المقعرات ليست سوى مفاعلات حرارية هائلة يتم فيها صهر الصخور وتحويلها إلى أنواع أخرى تختلف عن الأولى تماما.

ومن هنا نرى كمية الطاقة الهائلة المستعملة في مثل هذه العمليات وكذلك يمكننا أن نحكم لماذا تتمركز أهم مراكز الزلازل في المقعرات البنائية بخاصة، وكذلك البراكين. وهذا التطور الكبير لا يتم دفعة واحدة ولكنه يمر عبر مراحل عدة، تعكس التبدلات العنيفة التي تتم في باطن الأرض والتي تعبر عنها الهزات الأرضية العنيفة.

1- المرحلة الأولى

إنها مرحلة ظهور وولادة المقعرات البنائية، أي أنها المرحلة التي تبدأ فيها القشرة الأرضية الصخرية بالهبوط والخفس التدريجي فتضغط على ماتحتها وترفع بذلك من حرارتها ويزداد توتر باطن في مثل هذه الأماكن، وتبدأ الفعاليات الزلزالية بالظهور، ويمهد التقعر هذا لتغلغل مياه البحار من المناطق المجاورة فتظهر في البداية بحار ضحلة تمثل مراكز تجمع حتى للصخور القارية المجاورة وتتجمع بخاصة الصخور الرملية والطينية والحصوية وتظهر الصخور الكلسية، وترافقها جميعا الصخور الباطنية والبركانية البازلتية المصاحبة كما أشرت آنفا لظهور الهزات الأرضية والبراكين بسبب عملية التقعر. وقد تصل سماكة الرسوبات إلى (10-15)كم في أماكن الهدم العنيفة.

2- مرحلة النضج

وهي المرحلة التي تسبق مرحلة ظهور السلاسل الجبلية، ونلاحظ فيها تباطؤ عمليات التقعر والهبوط مقارنة بالسابق، وتأخذ النجود والظهور

التضاريسية بالارتفاع والظهور من تحت مياه البحار فتتشكل بعض السلاسل الجبلية القوسية الامتداد كما في جزر اليابان. وتكثر في هذه المرحلة الصخور الكلسية العضوية المنشأ وصخور الفليش. وتستمر حركات الأرض والزلازل والبراكين كعهدها السابق وتتابع كذلك الصخور الباطنية والبركانية البازلتية والاندزيتية بالارتفاع نحو الأعلى.

3- مرحلة ظهور الجبال

تتشكل في هذه المرحلة كتل جزرية كبيرة مرتفعة نسبيا ذات جذور وقواعد التوائية، وعلى أطراف القارات يبدأ ظهور حفرها مشية طويلة، وتدريجيا يأخذ البحر بالانحسار والاضمحلال والتجزؤ. فيتحول إلى بحار ثانوية غير متصلة كما هو الحال بالنسبة للبحار: الأبيض المتوسط والأسود وقزوين.. الخ. وتظهر البحيرات المالحة البحرية المنشأ (لاغونات). وتنشط في هذه المرحلة الحركات الزلزالية والبركانية في مثل هذه الأقاليم.

4- مرحلة الارتفاع الأكبر للجبال

تفوق عمليات ارتفاع الجبال في شدتها عمليات انخفاض مستواها بسبب عمليات الحت والحفر المختلفة (مائية نهرية، بحرية، ريحية، جليدية... الخ). لذا تتشكل أعلى السلاسل الجبلية في هذه المرحلة كما في جبال هيمالايا وطوروس في تركيا والألب في أوروبا وسواها. هذا النشاط الجبلي العظيم يعيد الحياة للصدوع والفوالق الأرضية ثانية، أي أنها تعود مرة أخرى لنشاطها الزلزالي والبركاني بعد هدوء طويل. كما تظهر صدوع وفوالق جديدة مما يزيد من شدة فعالية البراكين والزلازل. ويعيش حوض البحر الأبيض المتوسط هذه المرحلة الآن.

5- مرحلة التحول الجبلي إلى القواعد القارية[*1]

تنشط في هذه المرحلة عمليات الحت وتراكم وتجمع المواد الصخرية المحتوتة، وتبدأ في باطن الأرض ظاهرة تحول قوة الضغط الجانبية إلى قوة دفع باطنية هامشية مغايرة اتجاها، لذا تبدأ عمليات ظهور الانهدامات

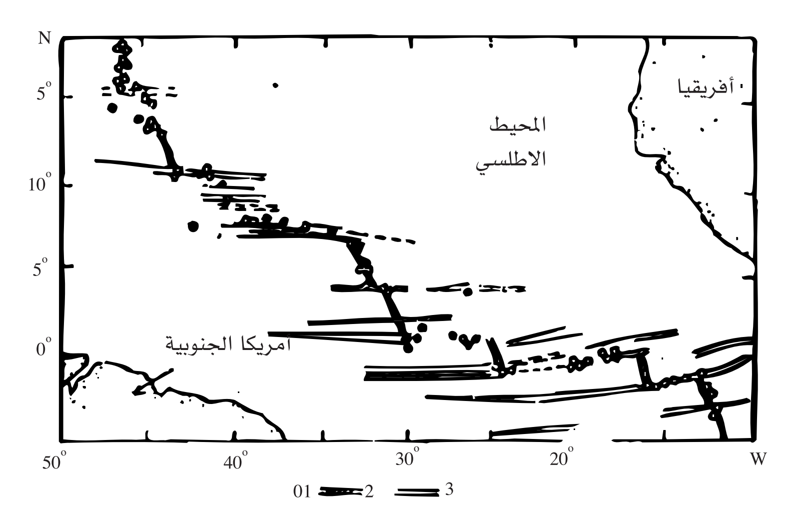
(*1) مجموعة من المؤلفين، الجيومورفولوجيا العامة، موسكو1985.

والأغوار، كما في قاع البحر الأحمر، وتنشط الفعاليات البركانية بصخورها المميزة الممتزجة مع الصخور الرسوبية. وتدريجيا بسبب تزايد الفعاليات البنائية الباطنية تبدأ الصخور الجبلية الرسوبية غالبا بالتحول التدريجي إلى صخور متحولة، فتتحول المنطقة كاملا إلى قواعد قارية سميكة وصلبة ويقل النشاط الزلزالي والبركاني، ولكن إلى حين ظهور سلاسل جبلية من نوع آخر، هي الكتل الجبلية المصدعة المكسرة غير الالتوائية كما في حوض البحر الأحمر وفي جبال الصحراء الكبرى (الهجار وتيبستي). نتيجة لهذه التحولات تزداد الفعاليات الزلزالية والبركانية (اليمن).

وهكذا نرى أن الحركات البنائية الباطنية العنيفة ترافق كل مراحل تطور المقعرات ومن هنا تعتبر أقاليم المقعرات من أكثر مناطق العالم زلزلة.

مسببات أخرى

لقد ازدهرت الأبحاث البحرية والمحيطية منذ أواسط هذا القرن، ووجد أن واقع القيعان المحيطية يختلف كثيرا عما هي عليه في القارات، فهي



الشكل (9)

ا- بؤر الزلازل 2- الغور الأساسي 3- صدوع مستعرضة

أفقر بالمراكز الزلزالية، ولا تشاهد البؤر الزلزالية إلا في أقاليم الجبال المحيطية الغورية والمتمركزة في أواسط القيعان المحيطية، وهي عبارة عن جبال يختلف مظهر عن الجبال القارية، إذ إنها جبال انهدامية غورية في محاورها وتتميز بصعود مستمر لمواد المهل الباطنية الساخنة وبالطاقة الحرارية العالية المنبثقة من مراكز صعود المهل (Magmas)، وكذلك بتباعد شفتي هذه الأغوار وذلك لأن حركات الانتشار والدفع من المركز إلى الأطراف هي المسيطرة في هذه السلاسل بسبب صعود المهل وانتشاره جانبيا. كما لوحظ هنا وجود الكثير من الصدوع الجانبية. والواقع أن مكامن الزلازل تتمركز ضمن المناطق المتصدعة المتحركة ببطء كبير. (شكل9).

لقد مهدت المكتشفات الأخيرة في قيعان المحيطات لظهور نظرة جديدة مهمة بالنسبة لتطور القشرة الأرضية. ولها تأثير مباشر وحيوي في ظهور الفعاليات الزلزالية في المحيطات والقارات.

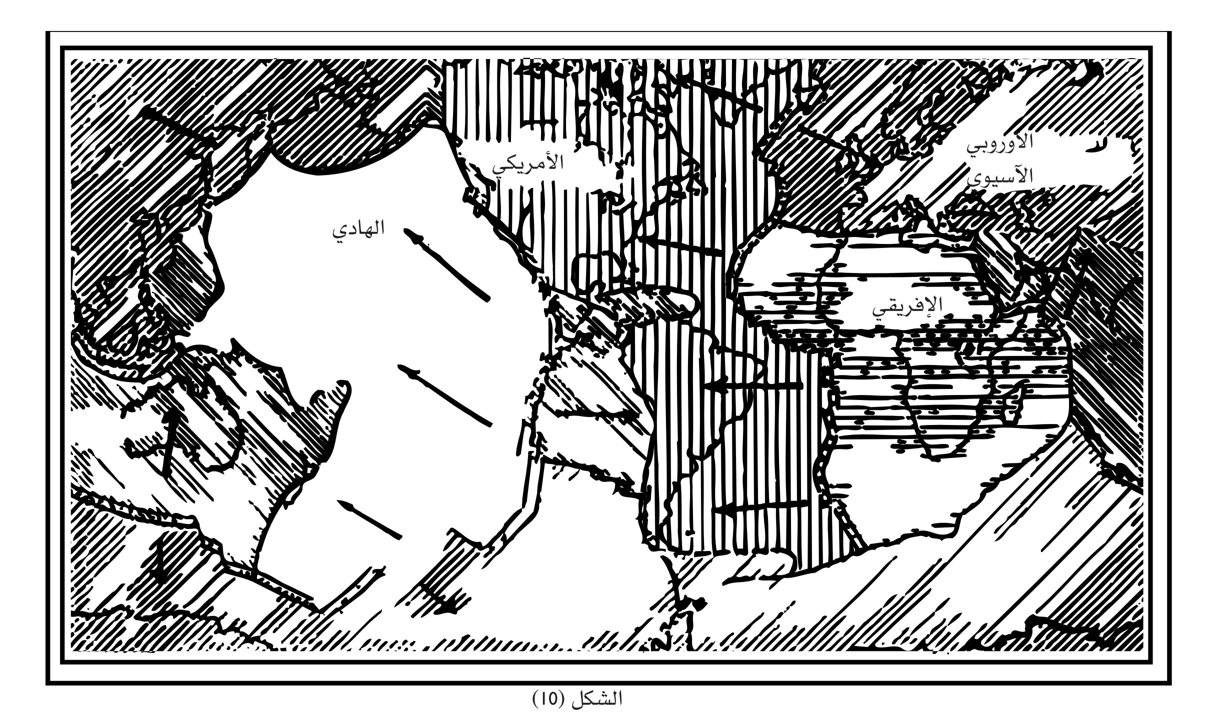
لقد عرفت هذه النظرية بنظرية المسطحات (الصفائح) البنائية. وعليه، نجد أن القشرة الأرضية كاملة مقسمة إلى مسطحات كبيرة متجاورة تتحرك كل منها حركة متكاملة باتجاه معين (شكل10). ولقد تم التمييز بين ثلاثة أشكال من الحركات الأساسية:

أ- سيطرة الحركة التباعدية، أي ابتعاد الصفائح عن بعضها البعض كما في أقاليم السلاسل الجبلية الغورية في أواسط المحيطات وكما في قاع البحر الأحمر وخليج عدن وخليج كاليفورنيا.

ب- حركة صفائحية تقاربية: أي تقترب الصفائح بعضها من بعض، وذلك كما في حواف المحيطات وبخاصة في المحيط الهادي. إذ تتمركز في هوامشه صدوع وفوالق عميقة جدا ومتوغلة جدا بشدة ضمن الجزء الأعلى من المانتيا.

جـ- الحركة التماسية: وفيها تتزلق المسطحات بمحاذاة بعضها البعض عبر الصدوع والفوالق، كما في صدوع آزور - جبل طارق في المحيط الأطلسي، وفي منطقة صدع سان اندرياس غرب الولايات المتحدة الأمريكية المشهور بزلازله المدمرة.

إن الأقاليم المتطاولة والضيقة نسبيا والفاصلة بين الصفائح أو المسطحات تمتاز بنشاطها الزلزالي والبركاني الضيق بسبب حركة



الشكل (١٥)
الصفائح (المسطحات) البنائية الأرضية

اتجاه حركة الصفائح

المسطحات ومسببات هذه الحركات. ان عدد المسطحات كبير يزيد على مئة قطعة. الا أن الرئيسية منها سبع وهي: الأمريكية الشمالية والأمريكية الجنوبية والأفريقية والأوروبية الأسياوية والهندية الاسترالية والقطبية الجنوبية ومسطح المحيط الهادي.

ومن الصفائح الثانوية، وكمثال: العربية والهندية الصينية والأناضولية والإيجية... الخ. تحت تأثير العمليات الحرارية والحركية التي تعتري طبقة المانتيا تتحرك المسطحات ملتقية حينا ومتباعدة حينا آخر، وقد تتحرك بشكل شبه دائري كذلك. ومن هنا تظهر ثلاثة أشكال من العلاقات التلامسية بين المسطحات. فقد تصطدم وتلتقي نتيجة لذلك جبهة مسطح مع جبهة مسطح آخر، كما هو الحال بالنسبة للمسطحين الآسيوي والهندي. ولقد أدى الاصطدام إلى نهوض سلاسل جبلية عملاقة كجبال هميالايا. فهنا التقت الصفيحة الهندية مع كتلة التيبت العالية الضخمة، ومثل هذا الاصطدام حدث بين السطح الإيراني والتوراني، فظهرت تبعا لذلك جبال كابيت داغ وبين المسطح الأناضولي والعربي. أما ظاهرة الانغماس والابتلاع فتتم عندما يلتقي مسطح محيطي رقيق نسبيا مع مسطح قارى سميك. فيندس المسطح المحيطي لثقله تحت المسطح القاري فتغوص عميقا في طبقة المانتيا العليا محدثة اضطرابا كبيرا في أعماق هذه المناطق. تكثر مظاهر الابتلاع هذه حول المحيط الهادي أو فيما يعرف بحلقة النار (لكثرة البراكين والزلازل).

قد تتباعد المسطحات بعضها عن بعض فتزداد المسافة بينها بعدا. ومثل هذه الظاهرة نجدها في أقاليم السلاسل الجبلية المحيطة المغمورة بماء المحيطات والتي تمتد طوليا آلاف الكيلومترات. ومثل هذه الحركة نراها في غور البحر الأحمر وفي شرق أفريقيا وفي منطقة بحيرة بايكال.

إن اكتشاف مثل هذه الحركات مؤخرا قد أعاد الحياة إلى نظرية قديمة هي نظرية زحزحة وانسياح الحركات لفاغنر. وقد تكون الحركة انزلاقية وذلك عندما تتحرك حواف المسطحات باتجاهين متعاكسين. كما في إقليم خليج كاليفورنيا المطل على غرب المحيط الهادي وهو معروف بنشاطه الزلزالي (صدع سان اندرياس). وكما في منطقة البحر الكاريبي. مما لاشك فيه أن مناطق الاحتكاك بين الصفائح تمثل المناطق الرئيسية لانتشار

الزلازل، ولكن هذا الأمر لا يمنع ظهور مناطق زلزالية عنيفة في داخل المسطحات كما في منطقة بحر إيجة في البحر الأبيض المتوسط[*2].

يؤمن العلماء بوجود مثل هذه المسطحات الواسعة المتحركة كقطعة واحدة، ولكن الاختلاف الأكبر بينهم يدور حول تحديد عمرها وبقائها كتلة واحدة خلال عصور جيولوجية طويلة. وتشير الدراسات المختلفة إلى أن التماس الطويل بين أجزاء من المسطحات يؤدي غالبا إلى التحامها. ومثل هذا الالتحام قد تحقق بين المسطح السيبيري والأوروبي الشرقي فوحدت بذلك بين مسطحي آسيا وأوروبا وذلك عبر انكسار الأورال الذي كان موجودا قبل ظهور هذه الجبال التي ظهرت نتيجة لاصطدام جبهتي المسطحين.

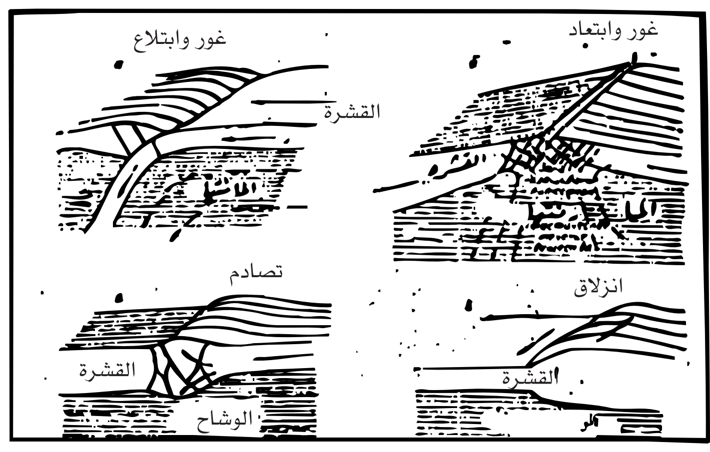
ويجب أن نشير كذلك إلى أن التأثيرات الحركية الباطنية والجانبية كثيرا ما تؤدي إلى ظهور توتر واضطراب كبير في بنية المسطح الداخلية، مما يؤدي إلى تكسرها وظهور وحدات أصغر. وهنا في أماكن التكسر تكثر الزلازل استجابة لعمليات التشقق والتمزق في القشرة الصخرية (بحر إيجة). ولكن قد تكون الزلازل هنا صدى لحركة صدم قديمة كما في مناطق جبال الأورال، أو أنها مؤشر لعمليات زلزالية أشد وطأة إذ تكدس العمليات البنائية في باطن الأرض طاقة حرارية كبيرة وإذا ما انطلقت فجأة تحولت إلى قوة محركة تحرك الكتل الصخرية محدثة بذلك زلازل عنيفة غالبا. ويمكن اعتبار منطقة زلازل غازلي في جنوب صحراء قراقوم التركمانية وكذلك منطقة أوسط مجرى نهر الميسيسيبي مثالا على ماذكرناه.

وهكذا نميز نموذجين زلزاليين في مناطق انتشار وتماس المسطحات العملاقة.

١- يتفق العلماء على أن الزلازل تتأجج في مناطق اتصال وتماس المسطحات. ويلاحظ أن أكثرها نشاطا تلك الأماكن المعروفة بسطوح الابتلاع أو (Sub doction)[*3] (شكل١١) والتي تتم فيها عملية اصطدام مسطح كبير وبقوة خيالية بآخر سميك فينثني المسطح الأثقل (البازلتي مثلا) تحت الآخر الأخف أي الذي وزنه النوعي أقل (الغرانيت والروسبيات) باتجاه الطبقة الضعيفة (استينوسفيرا) العالية الحرارة وباتجاه المانتيا العاليا،

(*2) ف. أ. ديربيف وسواه، منشأ الوحدات البنائية الأرضية، لينينغراد، 1988.

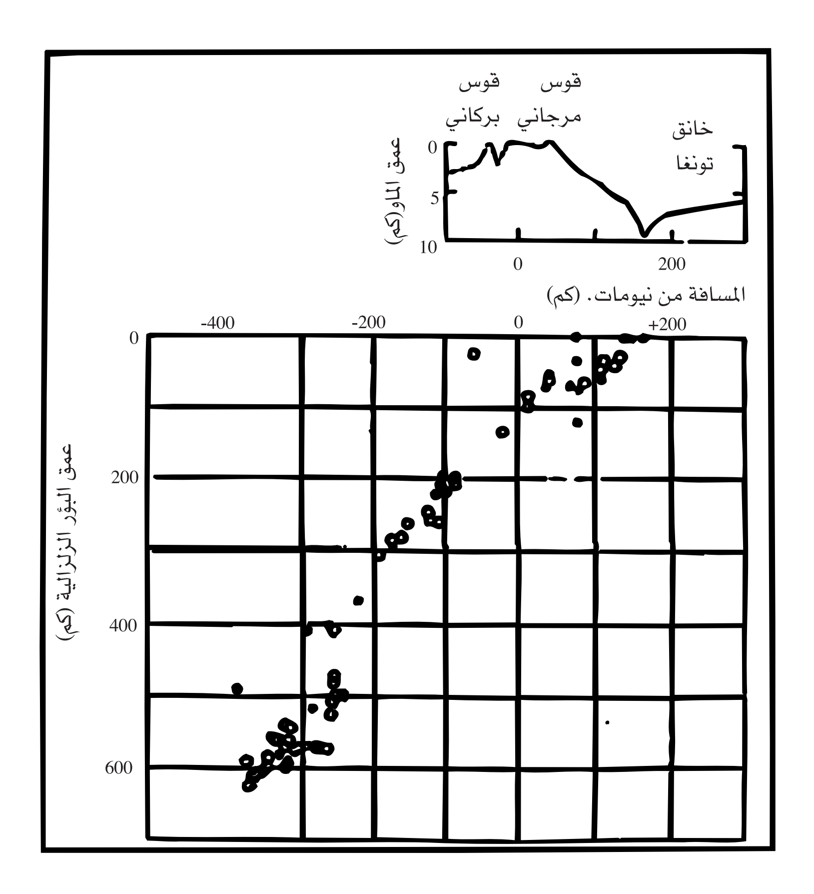
(*3) بناء القارات والمحيطات. دليل المصطلحات. موسكو1979.



شكل(11)
نماذج حركة الصفائح البنائية
حركة الصفائح
حركة مواد الوشاح

مما يؤدي إلى ظهور بؤر زلزالية كثيرة سطحية قريبة من السطح الخارجي وعميقة قد لا يقل عمقها عن (200-600)كم (شكل12). ويمثل اندساس القشرة المحيطية تحت القشرة القارية في منطقة جزر كوريل الروسية الواقعة شمال اليابان مثال لهذه العملية. لقد عرف الحد الفاصل بين المسطحين بنطاق أوسطح (بينيؤف - زفارسكي) الزلزالي وذلك نسبة لهذين العالميين. إن شدة الزلازل هنا مردها إلى عمليات الصدم والغوص نحو الأسفل وإلى التحولات التي تعتري الصخور الغائصة في أعماق الأرض. إذ تظهر صخور من نوع آخر نتيجة لانصهارها وتحولها. وبالطبع سيرافق هذه العمليات إطلاق كميات هائلة من الطاقة الحرارية. ولعل زلزال مدينة عشقباد المدمر في عام 1948 كان نتاج هذه العمليات والتي أدت إلى مقتل آلاف الأشخاص وإلى تدمير أكثر أجزاء المدينة.

ولكن لا يجد العلماء إجابة لتساؤلهم عن عدم وجود زلازل حقيقية في مكان مشابه وذلك في أواسط جبال هيمالايا، حيث الاحتكاك الشديد بين كتلة التيبت العتيدة والمسطح الهندي، وهنا أعظم قمم العالم ارتفاعا



شكل (12)
أعماق البؤر الزلزالية في جزر تونغا
(جنوب غرب المحيط الهادي)
زلازل عام 1965

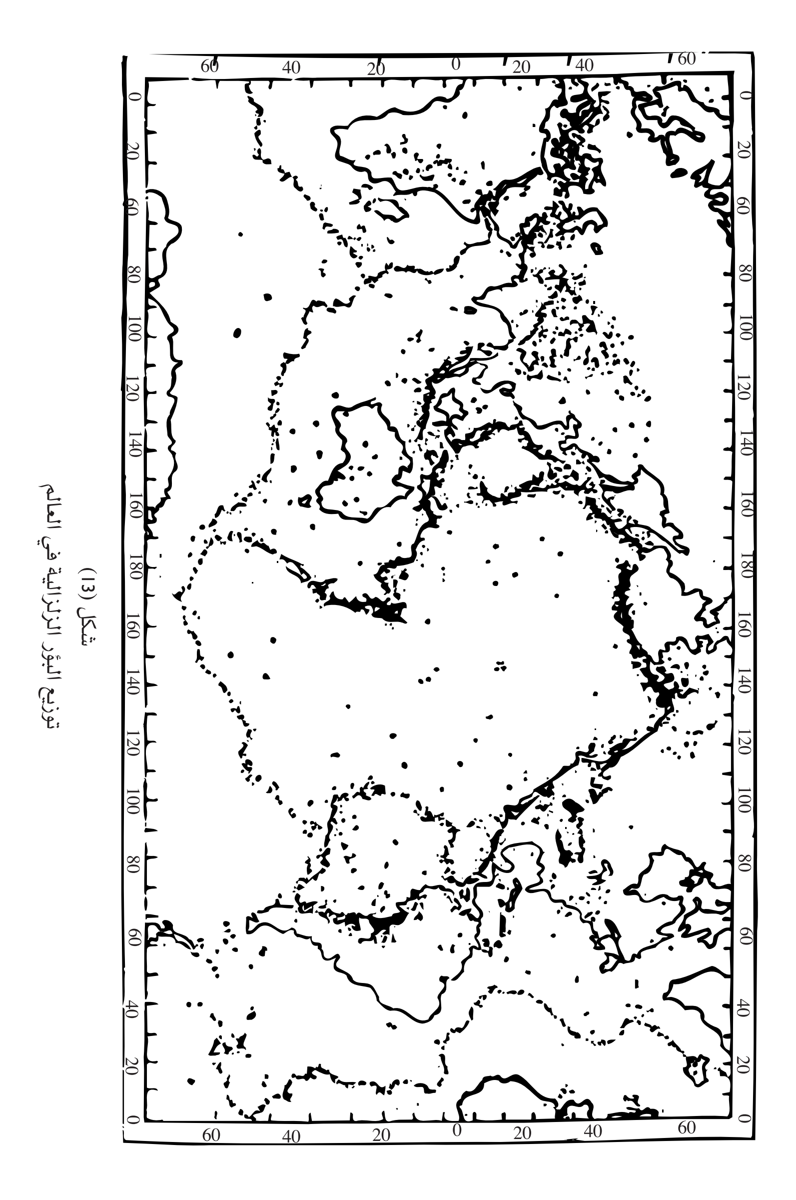
(إيفرست). ولكن نرى الزلازل في مكان آخر أبعد، في منطقة جبال شرق آسام وهندكوش الشامخة.

تعنف وتكثر الحوادث الزلزالية كذلك في أقاليم(4*) احتكاك المسطحات أو أجزاء منها بشكل أفقي ومتعاكس(شكل11) كما في مناطق غرب الولايات المتحدة الأمريكية (منطقة كاليفورنيا). وخير مثال عنها منطقة صدع سان اندرياس الممتد مئات الكيلومترات. اذ نرى هنا الكثير من البؤر الزلزالية. ويعتقد العلماء أن أجزاء من الولايات المتحدة ستفصل عنها مستقبلا أو ربما تتعرض للغوص في المحيط بسبب هذه الظاهرة.

أما في مناطق الانتشار والتوسع القاعي المحيطي كما في مناطق السلاسل الجبلية المحيطية فإن الزلازل أقل وطأة من المناطق الآنفة الذكر. وليس من المعروف تماما، فيما إذا كانت الزلازل هنا لها علاقة بأماكن وجود الأغوار الجبلية المحيطية أو بالصدوع التي تحيط بها ممتدة بشكل متعامد أو شبه متعامد مع خط امتداد الأغوار. ولكن هنالك مناطق أغوار تتسم بزلازلها العنيفة، كما في منطقة غور بحيرة بايكال السوفييتية سابقا. ولكن تفسير المظاهر الزلزالية هنا لا يزال مجال جدل بين العلماء. وهكذا تبقى المناطق الحدية الفاصلة بين المسطحات هي الأكثر زلازل من سواها، والواقع أن نظرة إلى خارطة توزع الزلازل (شكل13) ترينا أن البؤر الزلزالية تنتشر على شكل أشرطة متطاولة تتفق مع مناطق انتشار وامتداد الأماكن الفاصلة بين المسطحات.

2- ولكننا في نفس الوقت نرى مناطق زلزالية عنيفة بعيدة عن المناطق الحدية الفاصلة بين المسطحات، كما هي الحال في بحر ايجه شمال البحر الأبيض المتوسط وفي آسيا والوسطى ومناطق واسعة من الصين وجزر الفيليبين. ولو حاولنا أن نثبت حدود المسطحات اعتمادا على انتشار البؤر الزلزالية لرسمت لوحة جميلة لمسطحات صغيرة عديدة، ذات زلازل قوية ومدمرة مع أن شدة توتر القشرة الأرضية هنا أقل بكثير من مناطق المسطحات. أعماق المكامن الزلزالية متباينة وتتراوح عموما بين (50و200)كم. ولو ألقينا نظرة فاحصة إلى بنية هذه الأماكن لوجدنا أنها تشبه مظهر الجليد المكسر. وعليه ميز العلماء ثلاث بني في المسطحات: المسطحات

(4*) Mutter. John. c. floor spreading. Sience. vol 285. Nov. 1992



شكل (13)

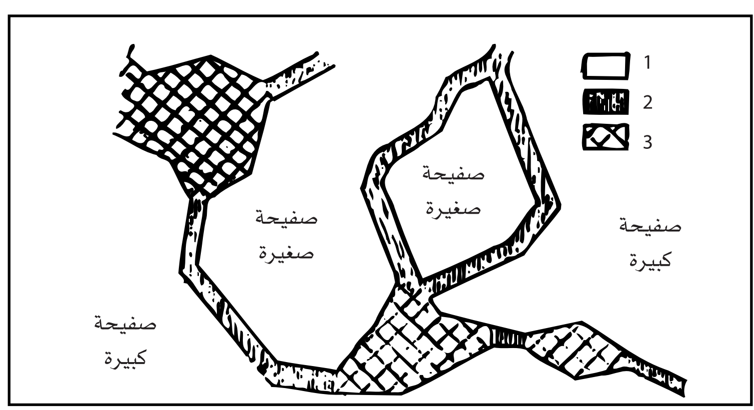
توزيع البؤر الزلزالية في العالم

الأساسية العملاقة ثم المناطق الحدية الفاصلة بينها وأخيرا مناطق التكسر الصفائحي (التكسر الجليدي)(شكل14).

ويجب أن نذكر هنا أن مناطق ما يعرف بمناطق التكسر الجليدي هي الأكثر نشاطا بنائيا وزلزاليا في القشرة الأرضية. إن حركة الأجزاء المهشمة ليست متناسقة، لذا فإن مراكز توزع الزلازل غير منتظمة، إذ إنها يمكن أن تظهر في أي مكان من المنطقة. وقد تختفي في مكان ما زمنا طويلا لتظهر في أماكن أخرى لم تعرف الزلازل سابقا. أو أنها هدأت منذ أزمان طويلة.

والآن كيف تتحرك المسطحات (الصفائح)؟.

من المعروف أن المسطحات الأساسية تتحرك أفقيا. أما في مناطق الانفصال بين المسطحات فنرى في الغالب حركات عنيفة عمودية الاتجاه. أما في مناطق التكسر القشري (الجليد المكسر) فإنها لابد من أن تكون عشوائية ليس لها اتجاه واضح. أما ما هو سبب هذه الحركة غير المنتظمة فمسألة خلاف بين العلماء. مع أن نظرة معقولة قد أجابت عن هذا التساؤل، وتتلخص بأن حركة هائلة زوبعية المظهر تعتري المواد المؤلفة للمانتيا اللدنة، وذلك بتأثير من الطاقة الحرارية العظيمة الموجودة هنا، والتي تنطلق من العناصر والمركبات المشعة ومن التفاعلات الكيميائية العنيفة.



شكل (14)

عناصر الصفائح البنائية

1- الصفيحة

2- الفاصل

3- الجليد المكسر

فتتحسن المواد الصخرية بشدة وتبدأ عملية فرز لمواد المانتيا، وذلك حسب أوزانها النوعية.

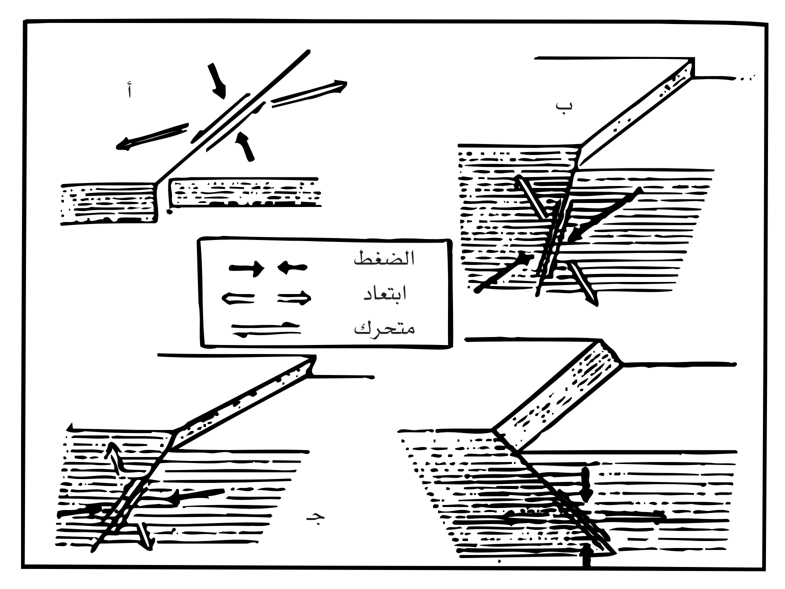
وبالطبع نجد أن المعادن والأخف تنطلق نحو الأعلى، وعندما تبلغ هذه القشرة الصخرية العلوية الصلبة لا تتجاوب الأخيرة مع حركة المواد الصاعدة فتتعرض للتكسير والحركة غير المنتظمة. وعليه يمكن القول إن مصدر الحركة طبقة المانتيا ولكن آلية الحركة غير واضحة تماما.

آلية الزلزلة

إن الضغط والتوتر النفسي سمة هذا العصر يعاني منه الكثير، ولكن مثل هذا التوتر والضغط تعيشه الأرض دائما، إذ نرى لها ساحة توتر واسعة نميز فيها نموذجين من التوتر والضغط. الأول ويتمثل في المحيطي المؤثر من جميع الجهات. وسببه ضغط وثقل الطبقات الصخرية السطحية أو العليا على باطن الأرض. ثم التوتر والضغط الجانبي الذي تقابله عملية تمدد واندفاع عمودية عكسية الاتجاه.

ونتيجة لذلك تتجزأ وتتكسر القشرة الأرضية الصلبة إلى أجزاء صغيرة وكبيرة. ومن المعروف أن الضغط الطبقي المحيطي وما يتبعه من انكماش داخلي لا يساعد على ظهور الخلل في توازن الطبقات الأرضية المختلفة، وخاصة إن كانت الصخورمتجانسة. ولكن التوتر الجانبي الواخز يؤدي إلى نتيجة مغايرة، أي إلى زحزحة الطبقات الصخرية وإلى تشوهها وتبدل مظهرها. وبالنسبة للقشرة الأرضية عامة، مثل هذا التوتر وهذه القوة المشوهة تقوم به وتزيده فعالية طبقة المانتيا العليا الأكثر حركة ومرونة من القشرة الصخرية الأرضية العليا مما يزيد من فعالية الظاهرة المذكورة لكون بعض المناطق في القشرة الأرضية محطمة ومشققة مما يجعلها أكثر توترا وزلزلة من سواها.

لنر الآن ماذا يحدث في الأرض نتيجة لظهور الأشكال المختلفة للتوتر فيها.. ولكن قبل كل شيء علينا أن نتذكر القانون الميكانيكي القائل: «إن تصدع وانشاق وحركة كتلة متجانسة يتم بزاوية مقدارها 45درجة بالنسبة لاتجاه القوة الضاغطة أو المؤثرة» هذا الكلام صحيح مخبريا ولكن بالنسبة للأرض الصورة مغايرة. وهكذا نميز الحالات التالية(شكل15):



الشكل (15)
حركة الكتل الصخرية والصدوع
(أ) انزلاق (الأيسر) (ب) صعود
(ج) ارتماء (د) صدع عادي

1- إذا كانت قوى الضغط وقوى التمدد والانتشار الجانبي متعامدة فإنها تؤثر في القشرة الأرضية بشكل أفقي. ولكن الشق أو الصدع المتكون نتيجة لذلك يمتد عموديا. والحركة الناتجة عن ذلك وبمحادات الصدع أو الشق ذات اتجاه أفقي ويتكون نتيجة لذلك صدع أو شق زحزحة.

2- إن كانت القوة الضاغطة أفقية كالسابق أو شبه أفقية وقوة التمدد قريبة من الاتجاه العمودي فإننا نشاهد أن اتجاه الصدع مائل بشدة وشفته العليا مدفوعة بقوة نحو الأعلى. إنه صدع وصعود.

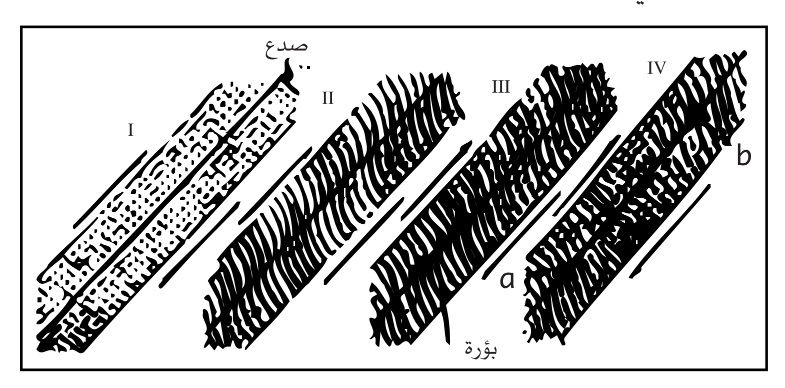
3- أما إن كانت الشفة العليا للصدع مائلة بشدة فتكون أمام صدع ارتماء وذلك عندما تكون قوة الضغط أفقية أو شبه أفقية ومتعامدة مع قوة التمدد.

4- وقد تكون أمام صدع انزلاق عندما تكون القوة الضاغطة عمودية (رأسية) وقوة التمدد أفقية ومتعامدة مع القوة السابقة.

6- أما عندما نرى صدعين متجاورين[(*5)] وبينهما قطعة من أرض هابطة فيتشكل لدينا ما يعرف بالغور. وإن حدث العكس أي ارتفعت هذه القطعة نحو الأعلى فيظهر النجد أو الظهر.

ونورد الآن وبعد أن تعرفنا على أشكال الصدوع كيف يتم الانتقال النوعي من حالة التوتر الأرضي إلى الحركة نفسها والحالة الحركية.

تفسر وببساطة نظرية النقل اللدن الفيزيائية والتي جاء بها العالم الأمريكي غ. ريد إثر زلزال سان فرانسيسكو المدمر عام(1906) ظهور بؤرة الزلزال. لنفترض كما في الشكل(16) ان الكتلتين الصخريتين (I وII) ملتصقتان معا عبر صدع قديم بعثت فيه الحياة من جديد أو أن الصدع سيظهر فيما بعد. وبما أن الكتلتين ملتصقان معا بشدة، فإن ذلك يعرقل عملية حركة الكتل الصخرية باتجاه معين هو اتجاه قوة الدفع الباطنية أو الجانبية. ولكن نرى بدلا من ذلك أن الكتل الصخرية تأخذ بالانثناء التدريجي وبالتشوه. وبالطبع في نهاية المطاف ستأتي اللحظة التي لا يمكن فيها للسطح الفاصل بين الكتلتين مقاومة شدة الانثناء والتشوه والتوتر الذي يعتري الصخور. وهذا يعني أن شدة التوتر الصخري تفوق قوة التماسك والتصلب الصخري، ونتيجة لذلك وبصورة فجائية ستتحرك الكتلتان في منطقة أفق التلامس الصخر باتجاهين متعاكسين، وذلك بامتداد الصدع أو الشق الذي ظهر.



شكل (16)

تشكل البؤرة الزلزالية

(*5) أ.ف دروميا ن.ن. شيبالين، الزلازل، أين، متى، لماذا كيشينيف 1985.

وهكذا تظهر الحركة وتتهشم الكتل الصخرية وهذا يعني أن بؤرة الزلزال قد تكونت، ولانرى في الشكل(16) حدودا واضحة للشقوق. وفي الواقع حتى في أكثر الزلازل قوة يتوقف آجلا أو عاجلا تطور وتنامي الشقوق، وكذلك يتوقف عن الحركة طرفا الصدع وقد يهدأ الصدع أو شق مئات بل آلاف السنين دون حركة.

لقد بقيت آراء غ. ريد مجرد نظرية زمنا طويلا. ولكن فيما بعد، وبعد استخدام القياسات الجيوديزية (المساحية) الحديثة، تبين أن الشق الصدعي المعاكس يبقى متحركا لمسافة معينة بعد انتهاء الزلزال. ولقد تم تحقيق مثل هذه القياسات منذ فترة زمنية وجيزة وتم التعرف عليها كذلك بوساطة تسجيلات ظاهرة تأرجح الأمواج الاهتزازية. ولقد قام بهذه العمليات البحاثة السوفييت بعد حصولهم على تسجيلات زلزال سان فرانسيسكو عام(1979).

وتبين أن ماجاء به ريد صحيح وموثوق. ونرى في الشكل حركة متعاكسة على طرفي الصدع. كما أن شدة الزحزحة الكتلية تتناقص كلما ابتعدنا عن الصدع الأساسي. وفي جميع الحالات أن عملية تجدد الشق أو الصدع لن تظهر على السطح الخارجي، ولن تتشعب الشقوق عميقا في جميع الاتجاهات لأن الكتل الصخرية المحيطة بالصدع لا تسمح بذلك. ولكن خلافا لما ذكرناه يتوغل الشق عميقا في باطن الأرض ولمسافة قد تبلغ عشرات بل مئات الكيلومترات.

والآن يرد إلى الأذهان سؤال كيف يمكن أن تتشكل مثل هذه الشقوق الكبيرة ودون أن تظهر على السطح؟ ولعلنا نجد الإجابة في المثال المبسط التالي: لو أخذنا كأس ماء ووضعنا في أسفله مادة فوارة لرأينا أن هزة خفيفة ستتم في أسفل الكأس وسيؤدي الأمر إلى ظهور شق في الكأس سيمتد لمسافة معينة ثم يتوقف. مثل هذه الظاهرة تحدث في أعماق الأرض ودون أن تظهر على السطح. والخلاف بين الظاهرتين يتمثل في أن الأرض غير متجانسة مادة أي صخريا. مما يظهر تعقيدات أكبر في أشكال الشقوق وطبيعة انتشارها.

تسمى كل الشقوق المنبعثة في أعماق الأرض ببؤر الزلازل. وهذه الشقوق تستمر في إطلاق الأمواج الاهتزازية مادامت عملية التشقق والتصدع مستمرة. ويمكن أن تسجل الأمواج هذه في مختلف أنحاء الأرض بوساطة

أجهزة التسجيل الزلزالية. ولقد ساعدت عملية رصد الأمواج[*6] الاهتزازية وتسجيلها على ظهور ما يعرف بعلم الزلازل والاهتزاز الموجي (Seis mology)، ومن المعروف أن علم الاهتزازات قد اهتم لفترة طويلة بدراسة قوانين انتشار وتوزع الأمواج الاهتزازية اللدنة في أعماق الأرض. بينما تدرس الآن بؤر الزلازل نفسها مستفيدة بذلك من الأمواج الاهتزازية الصادرة عن هذه البؤر.

وهكذا فإن بؤر الزلازل تمثل مساحة من الأرض في واقع أمرها ليست سوى منطقة تهدم وتكسر وتشقق في أعماق القشرة الأرضية وأعماقها.

يجب أن نشير إلى أن الموضع الذي تتكون فيه بؤرة الزلزال في باطن الأرض يسمى (Hypocentre) أي المركز العميق. أما الموضع الذي يعلوه على سطح الأرض فيطلق عليه المركز السطحي أو (Epicentre). ويمثل الموضع هذا المركز الذي تبلغ فيه قوة الزلزال أشد ما يمكن أي أنه مركز التدمير الأساسي.

من الواجب هنا أن نسأل عن الشقوق الكثيفة والكبيرة الموجودة في باطن الأرض والمكونة للبؤر الزلزالية. هل تظهر هذه فجأة ودون سابق إنذار ودون فترة تهيئة وتحضير مناسبة ومن ثم يظهر صدع أو شق هائل الامتداد والعمق وطاقة حركية واهتزازية كبيرة مدمرة تحدث الزلزلة؟! بالطبع الأمر ليس بهذه البساطة. وذلك لأن الأرض المعقدة التركيب والظروف قد أوجد الإله لها ولسواها من الكواكب قوانين طبيعية غاية في الدقة. ويهمنا هنا اثنان من هذه القوانين:

١ - قانون حفظ الطاقة

الذي يهمنا في هذا القانون هنا أنه بالإمكان تحويل الطاقة من شكل ما إلى شكل آخر واحد فقط. فإذا ما حررت شفتا الصدع المتحركتان الطاقة التحريكية للطبقات الصخرية المتزحزحة فإن ما يهمنا في الأمر هو من أين جاءت هذه الطاقة؟.

قبل أن نجيب عن هذا السؤال يجب أن نشير إلى أن جزءا من الطاقة صرف على تحريك شفتي الصدع والجزء الآخر على تهشيم وتكسير الصخور

(*6) ج.أ. ايبي، الزلازل، موسكو1982.

في منطقة تماس طرفي الصدع واستنفدت عملية الاحتكاك الصخرية جزءا من الطاقة أيضا، وجزء منها ذهب إلى البؤرة الزلزالية نفسها. أما ما تبقى من طاقة فتحول إلى أمواج اهتزازية أصدرتها وشقتها البؤرة الزلزالية.

أما الإجابة فإنها بسيطة: عندما تتعرض الكتل والطبقات للانثناء تتجمع وتتراكم فيها طاقة عظيمة كامنة هي طاقة الانثناء أي الطاقة اللازمة للقيام بعملية التثني الصخرى. أضف إلى ذلك أنه ستتعرض الطبقات الصخرية المتوترة إلى الانضغاط والانكماش ونتيجة لذلك ستختزن طاقة إضافية مهمة. إن قسما من الطاقة الكامنة المخزونة في عملية الانكماش والانثناء تتحول إلى قوة تحريكية تدفع بالطبقات الصخرية ومن ثم تنطلق وبقوة فائقة الأمواج الاهتزازية إلى جميع الاتجاهات.

2- قانون السرعة القصوى الحدية لنقل الإشارة

من المعروف إلى الآن أنه لا توجد في الطبيعة سرعة أكبر من سرعة الضوء وذلك في الأوساط التي يمكن للضوء أن يخترقها، ومن المعروف أن سرعة الضوء تصل إلى 000 ,300كم/ثا. ومثل هذه السرعة نراها بالنسبة للتذبذبات الكهرومغناطيسية، إلا أننا في الطبيعة نصادف ذبذبات من أنواع أخرى. مثل الجبهة التموجية للطاقة الناجمة عن التفاعلات الكيميائية والانفجارات. أما بالنسبة للتذبذبات الحركية (ميكانيكية) فإن السرعة القصوى للحركة أقل من السابق بكثير وأي عملية حركية في الجسم الصلب (صخور) ومن ضمنها عملية انشقاق وانغلاق الصخور لن تتعدى سرعة ذبذباتها سرعة الصوت. ولن تزيد سرعة انغلاق الكتل الصخرية على (4كم/ثا). وهكذا يمكن القول إن شقا طوله بضع عشرات أو مئات من الكيلومترات لا يمكن أن يتكون في لحظة واحدة بل يحتاج إلى فترة زمنية أكبر من ذلك. والسؤال الآن: كيف لمثل هذا الشق العظيم أن يعد ويتشكل ويشع (يطلق) الأمواج الاهتزازية؟

في بداية السبعينيات من هذا القرن وفي أن واحد تقريبا صنع نموذجان فيزيائيان لعملية تشكل الشقوق في الصخور.

الأول: النموذج الانهيالي غير الثابت لتشكل الشقوق ويرمز له بالحروف (L.N.T) وذلك على يد بعض العلماء السوفييت مثل ب. ف. كستروف،

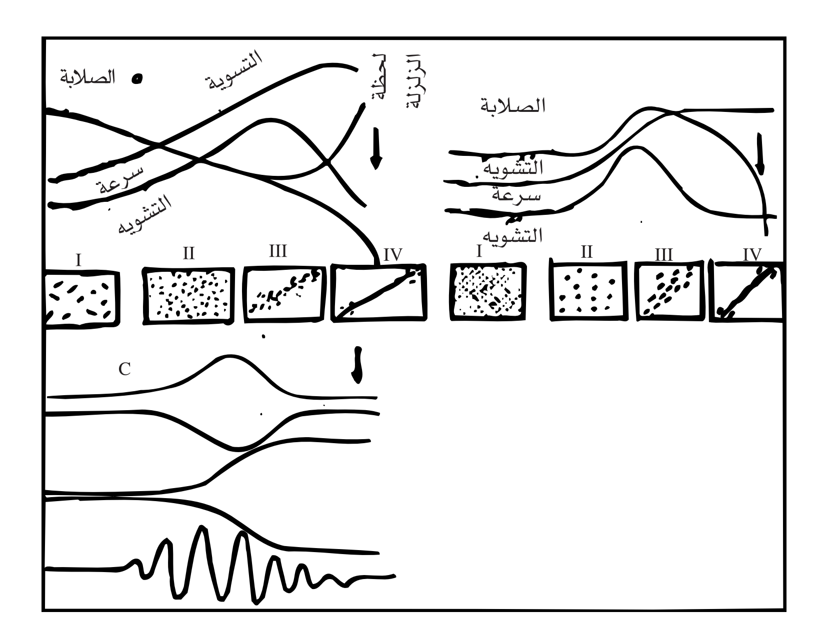
وأ.سابوليف، وغ.شامينا.

الثاني: الأنموذج (D. D. MoD)[7*] الذي وضعه العلماء الأمريكيون (الأنموذج الانتشاري).

يمر في الأنموذجين تشكل الشقوق ببعض المراحل: فحسب (L.N.T) (الأنموذج الانهيالي) وبتأثير من التوتر الأرضي المستمر والطويل يظهر الإجهاد في مقاومة الصخور ويبدأ عدد كبير من الشقوق الصغيرة بالظهور. ومادامت غير مرتبطة ومتصلة مع بعضها البعض نجد أن عددها في وحدة الحجم يتزايد باطراد. ولكن لا تلبث أن تأتي اللحظة التي تبدأ فيها التشققات بالتحسس بالشقوق المجاورة. وتظهر الشقوق المتوازية المترابطة وكأنها يساند بعضها البعض. أما المتعامدة معها فتبدو وكأنها تعاكسها وتحد من انتشاره. وبعد ذلك يتزايد عدد الشقوق بسرعة وبشدة نتيجة ظاهرة الانهيال والانهيار (Lavine). وفي مثل هذه الظروف ليس بإمكان الشقوق الظهور في كل وحدة الحجم فتبدأ بالتجمع والتمركز في أشرطة أو آفاق ضيقة. أما في بقية أجزاء وحدة الحجم فتتوقف الشقوق عن التطور والتزايد وتموت. ويؤدي هذا الأمر جزئيا إلى تزايد في صلابة ومقامة وحدة الحجم بشكل عام. ولكن في أماكن تمركز الشقوق تظهر شرائح صخرية قليلة المقاومة. وهنا تعد الظروف لحدوث انشطار أساسي وكبير وبالطبع تتناقص مقاومة الصخور هنا إلى أدنى حد لها، وفي ختام هذه المرحلة تلتحم الشقوق التي كانت متمركزة شريطيا وبسرعة كبيرة في شق واحد فتشق وتنغلق الصخور هنا بعنف وبعمق وبسرعة. وهكذا تظهر بؤرة الزلزال. ويتحرك طرفا الصدع بحرية ويتقدم الشق إلى الأمام بنفس السرعة إلى أن تنتهي ساحة التوتر الأرضية في منطقة البؤرة، أو أن الصدع يرتطم بكتلة صخرية شديدة الصلابة فيتوقف التشقق الأرضي.(شكل17).

أما بالنسبة للأنموذج (D. D. Mod) فإن العمليات تتم بشكل مغاير لما سبق، والدور الأساسي في علمية تكون البؤر الزلزالية إنما يرجع للتأثير المتبادل بين الكتل والمواد الصخرية والشقوق والماء الموجود في هذه الشقوق. ففي المرحلة الأولى نرى شقوقا صغيرة مجهرية. إلا أن كل مانجده هو ساحة توتر لدنة تظهر فيها لاحقا شقوق مجهرية دقيقة. إلا أنها شقوق بتر

(*7) شيبالين، المصدر السابق.



الشكل (17) أنموذج البؤرة الزلزالية

مراحل الأنموذج L.N.T- A

I- تشقق متماثل

II- بدء تفاعل الشقوق

III- نمو وتوسع الشقوق

I- تشكل الشق (البؤرة)

الأنموذج (D.D)-B

I- وضع متوتر

II- ظهور الشقوق

III- ملء الشقوق بالماء

I- تشكل الشق البؤرة

ظهور البؤرة حسب معطيات الصين الشعبية

وفصل للصخور وليست شقوق دفع وزحزحة وتقدم، كما في الأنموذج (L.N.T) . ونتيجة لظهور الشقوق نرى حدثا غير طبيعي، فعندما تزداد فعالية المؤثرات الخارجية نجد أن حجم الصخور والمواد لا ينكمش أو يتناقص، بل انه بدلا من ذلك يزداد بسبب تزايد سعة الشقوق والمسام، ونتيجة لذلك تزداد الصخور جفافا، لأنه لم يعد بإمكان المياه التي كانت سابقات شغل كل المسام والشقوق التي ازداد حجمها، ويتناقص الضغط المسامي الصخري وتزداد المقاومة العامة للكتل الصخرية التي ازداد جفافها. ولكن فيما بعد يبدأ تأثير نوعين من العمليات:

(أ)- استمرار تزايد شدة التوتر الخارجي. وفي نفس الوقت تأخذ مقاومة الصخور بالتناقص مترافقة مع:

(ب)- عملية ملء المسام بالماء بواسطة ظاهرة الانتشار الفيزيائية. وعندما تهبط مقاومة الصخور وتماسكها إلى حدودها الدنيا يتشكل شق كبير في الصخر مكونا بذلك البؤرة الزلزالية التي تبث وتطلق الطاقة الاهتزازية الموجبة كما في الأنموذج (L.N.T).

يجب أن نشير ختاما إلى أن الأنموذجين المذكورين معتمدان الآن عالميا في عمليات التنبؤ بالزلازل والتعرف على طريقة تشكلها.

3 القياسات الزلزالية

إن دراسة الزلازل والقيام بالقياسات الضرورية لمعرفة مكان حدوث الزلزال وقوته ودراسة آثاره المدمرة والتعرف على خصائص الأمواج الاهتزازية كلها أمور حيوية وأساسية بالنسبة للإنسان. لأنها هي التي تعطينا الصورة الحقيقية عن درجة مخاطر وخطورة الزلازل وما يجب أن يُعمل للتخفيف من أضرارها كما أنها تقرر لنا معرفة موثوقة عن باطن الأرض وما تحتويه من مواد مختلفة والحالات الفيزيائية التي تعيشها هذه المواد، وبخاصة إذا ما علمنا أن الأمواج الاهتزازية تمتد عميقا في باطن الأرض، بل إنها قد تنفذ من طرف إلى آخر في الزلازل المدمرة.

تتناقص طاقة الاهتزازات كلما ابتعدنا عن مركز انطلاقها وبؤرة أو مركز الزلزال. ويمكن لأجهزة الرصد الزلزالية تسجيل الاهتزازات هذه مهما كانت ضعيفة. وتذكرنا هذه الأمواج بالأمواج المتشكلة في بركة أو حوض مائي أُلقي فيه بحجر. فالأمواج تبدأ صغيرة القطر عالية وشديدة ثم تزداد اتساعا وتتدنى طاقاتها تدريجيا إلى أن تصل إلى نهاية الحوض المائي. وكذلك الحال بالنسبة للأمواج الاهتزازية الزلزالية، إذ إنها قوية مدمرة في منطقة

المركز أو البؤرة ثم يتسع مجالها كلما ابتعدت ولكن تتناقض تبعا لذلك قوتها وطاقتها إلى أن تتناهى إلى الصفر.

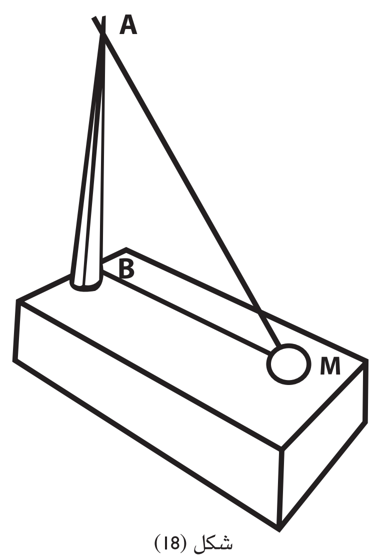
نلاحظ في دراسة الزلازل عمليتين مترابطتين جيدا، وهما: سبب حدوث الزلازل ثم الآثار الناتجة عنها وذلك بسبب حركة الكتل الصخرية في منطقة تكون الشق الأرضي أو الصدع (البؤرة)، وما يتبع ذلك من تشققات في الكتل الصخرية العميقة والسطحية في أماكن أخرى.

وهكذا نرى أنه من الضرورة بمكان أن نعرف عن الزلزال كل شيء أو أكثر ما يمكن: كيف يظهر انشقاق الأرض باطنيا وسطحيا وما هي كمية الطاقة المنطلقة والمتحررة في بؤرة الزلزال، وكيف تتوزع هذه الطاقة في طبقات الأرض المختلفة.

وكيف يتموج ويتأرجح سطح الأرض الخارجي والتربة، تحت تأثير الأمواج الاهتزازية القادمة من أعماق الأرض، وكيف تؤثر في سطح الأرض وما تحتويه من مساكن ومنشآت... الخ.

ماذا يمكننا أن نراقب مباشرة في مركز الزلزال. علما أن أيدينا لا تدرك وإلى الآن أعماق القشرة الأرضية حيث بؤر الزلازل. كما أنه علينا أن نخمن ما حدث في باطن الأرض. أي أنه يجب أن تكون مراقبتنا منطلقة من مركز صدور الزلزال وحتى أقصى درجات تأثيره بعيدا عن المركز والعكس أي من نقطة التأثيرات الأضعف وحتى بؤرة الزلزال حيث القوة التدميرية الأعظم. ولكن يجب الانتباه إلى الأخطاء الممكن ارتكابها أثناء تسجيل الظاهرة الزلزالية وما يمكن أن ينجم عن ذلك من أخطاء في التعرف على طبيعة وشدة الزلزال وعمقه وتحديد مكانه وللحصول على مثل هذه المعلومات الأساسية والضرورية لابد من وجود جهاز استقبال حساس يتلقى الإشارات الموجية الاهتزازية ويسجل تذبذبها وتأرجحها وسرعاتها بدقة.

ويستخدم لتحقيق هذا الغرض جهاز خاص يعرف بالسيسموغراف (Seismography) وله أنواع كثيرة تتراوح أوزانها ما بين أقل من كيلوغرام واحد وبضعة أطنان. لكل هذه الأجهزة مبدأ عمل واحد ومهما تنوعت. ويمكن أن نوضح طبيعة عملها انطلاقا من أبسطها وأقلها تعقيدا. وهو ما يعرف بالنواس الأفقي(شكل 18).



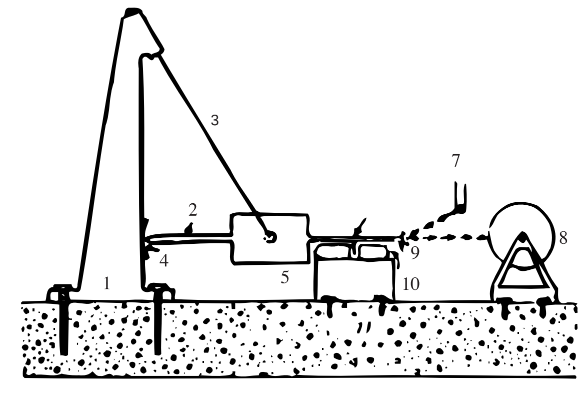
شكل (18)
جهاز رصد زلزالي مبسط
AB-دعامة M- كتلة معدنية
BM-قضيب معدني

نرى من الشكل أن الجهاز مؤلف من دعامة قوية هي (AB) وكتلة معدنية (M) يثبتها في مكان محدد محور معدني (MB) ويدوران في النقطة (B). وهنالك أيضا سلك معدني (AM). تثبت الدعامة العمودية فوق قاعدة اسمنتية قاسية معشقة بالأرض بقوة، هذه المنظومة تشكل جهاز الاستقبال الاهتزازي. لنفترض الآن في نقطة الدوران (B) أن الاحتكاك معدوم والكتلة (M) المعدنية ثقيلة بدرجة كافية. وهكذا إذا ما تحركت الأرض والقاعدة الأسمنتية والدعامة المثبتة على القاعدة مع الأمواج الاهتزازية القادمة إلى الجهاز تبقى الكتلة ثابتة بالعطالة. ومع أننا لا نشعر بهذا الأمر وذلك لأننا نتحرك مع سطح الأرض المتأرجح فتبدو لنا الكتلة متحركة والأرض ثابتة. وفي كل الأحوال نلاحظ أن الكتلة تتحرك بشكل آخر يختلف عن حركة القاعدة وحركتها هذه تمثل إشارة قدوم الأمواج الاهتزازية الزلزالية. يجب أن نشير إلى أن الجزء المتحرك من الجهاز السيسموغرافي يتحرك بأشكال مختلفة، ولكن في جميع الحالات هذه الحركات ليست سوى رد فعل الكتلة التي تؤمن الحصول على عملية تسجيل الهزات الأرضية.

أما الشكل الحالي المتطور للجهاز السيسموغرافي(*) فإنه يتألف من الأجزاء التالية (الشكل 19):

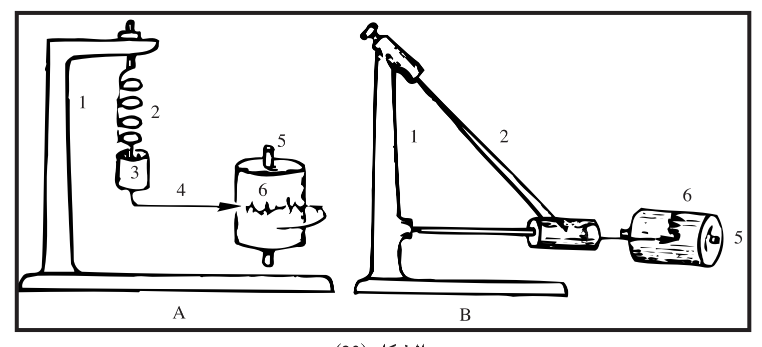
1- دعامة قوية مثبتة بأوتاد حديدية
2- ذراع أفقية
3- سلك حامل
4- نقطة ارتكاز
5- كتلة معدنية (كتلة العطالة)
6- صفيحة مثبطة للحركة
7- مصدر ضوئي
8- أسطزانة تسجيل
9- مرآة عاكسة للضوء
10- مغناطيس
11- قاعدة أسمنتية مثبتة فوق الأرض بقوة الصخرة الأم.

يتحرك النواس كما في الساعات الجدارية ذات النواس في مستوى واتجاه واحد، ولكي ترصد حركة التربة بشكل صحيح أثناء الهزات الأرضية، علينا استعمال ثلاثة أشكال من النواسات: اثنان منهما يتحركات أفقيا وباتجاه (شمال ـ جنوب) و(غرب ـ شرق) والثالث معلق بنابض (شكل 20)، وباتجاه (علوي ـ سفلي).



شكل(19): جهاز رصد أفقي معياري

(*) ف. أ. ياكوشف (المصدر السابق 1988)



الشكل (20)

(أ) جهاز رصد (سيسموغراف) عمودي
(ب) جهاز رصد (سيسموغراف) أفقي
1- دعامة
2- قضيب معدني
3- كتلة معدنية
4- إبرة كتابة
5- أسطوانة
6- التسجيل على الأسطوانة

وبوساطة هذه النواويس يمكن رصد حركة التربة جيدة أثناء الهزات الأرضية، مثل هذا الجهاز يسجل حركات التربة. بدقة ولكن دون تكبير. وإذا ما ثبتنا وأضفنا إليه ذراعا طويلة أو محدودة الامتداد أو منظومة معدنية يمكن زيادة أطوالها بالقدر المطلوب، يمكننا تبعا لذلك من أن نحصل على تسجيل مكبر ومضاعف بضع أو عشرات المرات وذلك لإيضاح شدة اهتزاز وتأرجح سطح التربة. ولكن ترافق هذه العملية ظاهرة أخرى هي تزايد قوة الاحتكاك له في نقطة التقاء مهماز أو ريشة الكتابة مع سطح الأسطوانة وفي مفاصل أذرع الوصل التي أضيفت لمضاعفة مقياس التسجيل الزلزالي. وهكذا لكي يقوم الجهاز بعمله بدقة لابد من زيادة وزن الكتلة المعدنية، لكي تصبح قيم العطالة كبيرة وفعالة بدرجة تمنع أي تشويه في واقع حركة التربة واهتزازاتها وتمنع حصول تشويه في الخط البياني الذي ترسمه ريشة الجهاز على الأسطوانة المغطاة بورق من نوع معين. ولوحظ أن وزن الكتلة المعياري هو (8) كغ بالنسبة لجهاز الرصد الزلزالي الأساسي (SMTR) ويمكنه أن يضاعف رسم حركة التربة بمقدار سبع مرات.

يجب أن نشير إلى أنه وإلى الآن في محطات الرصد الزلزالية المكسيكية والفنزويلية تعمل بعض أجهزة الرصد التي تبالغ حركة التربة بمقدار ألف مرة ولكن وزن الكتلة المعدنية يبلغ هنا 14 طنا.

ترتبط تصرفات النواس بالعلاقة بين فترته الخاصة به وفترة الأمواج القادمة إلى جهاز الاستقبال الزلزالي. فإذا كانت فترة اهتزاز التربة أقل بشكل واضح من فترة اهتزاز النواس فإن مدى تحركه وتزحزحه سيتناسب طردا مع تحرك التربة. وهذا الواقع هو الذي يمكن أن يعبر عن جهاز رصد زلزالي حقيقي (سيسموغراف).

يحاول الباحثون في مجال صنع أجهزة الرصد الزلزالية جعل فترة اهتزاز هذه الأجهزة، أكبر بقدر الإمكان.

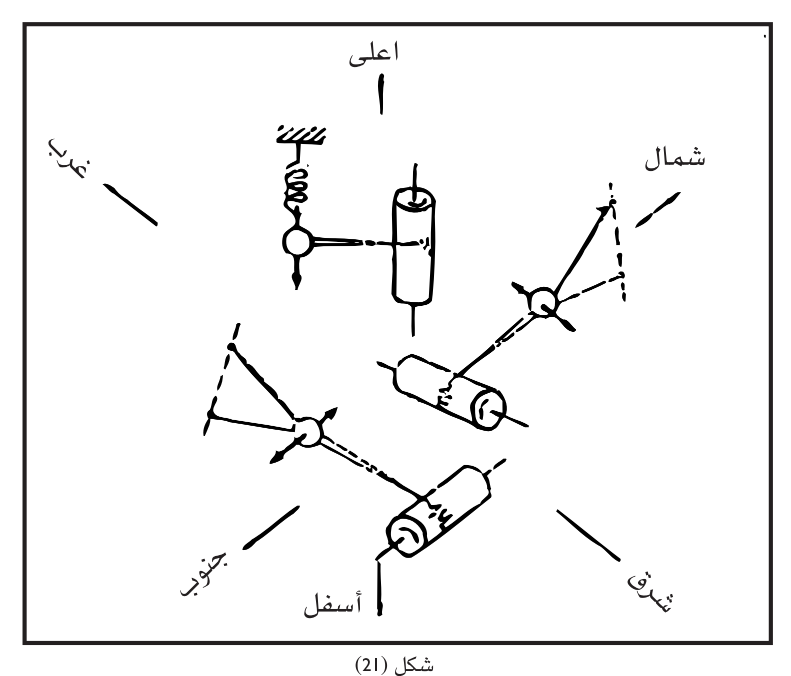
ولتحقيق ذلك يقومون بعدة إصلاحات تقنية على الأجهزة. ونلاحظ بالنسبة لأجهزة الرصد المعيارية في محطات الرصد أن فتراتها الذاتية لا تزيد على(100) ثانية، بينما لا تقل عن (5) ثوان في الأجهزة المقامة في الطبيعة مباشرة.

أما عندما تكون فترة النواس أقل بكثير من فترة اهتزاز التربة، فإن تحرك النواس لن يكون متناسبا طردا مع تحرك التربة ولكن مع ظاهرة تسارع حركة التربة. وتعرف مثل هذه الأجهزة باسم (Accelerograph) وتستعمل بخاصة لتسجيل الهزات الأرضية العنيفة ومدى تأثيرها في المنشآت والمباني. لذا فإنه من الأهمية بمكان رصد شدة تسارع اهتزاز التربة، يمكن للأمواج الاهتزازية أن تمتلك دورا زمنيا يتراوح بين أعشار الثانية والعديد من الدقائق، ولا يمكن لأية منظمة رصدية تسجيل هذه الأدوار مرة واحدة، لذا لابد من استعمال أجهزة رصد متباينة الخصائص لتحقيق الغرض المنشود، وكل مركز رصد نموذجي يجب أن يمتلك مثل هذه الأجهزة، كما في غرب الولايات المتحدة الأمريكية وكندا واليابان وفي الاتحاد السوفييتي السابق إلى حد ما.

وماذا نقصد بتعبير الأجهزة أو التجهيزات الكاملة لكل سعة اهتزازية؟

من المعروف أنه لنحدد حركة جزئيات التربة أثناء تعرضها للهزات الأرضية لابد من قياس مركبات حركتها الثلاثة (الأبعاد) المتعامدة. وبواسطتها يمكن أن نحدد بدقة اتجاه حركة جزئيات التربة. ولتحقيق مثل

هذا الأمر وكما أشرنا لابد من استعمال جهازين أفقي الحركة (شمال - جنوب - وشرق - وغرب) وآخر شاقولي الحركة (أعلى - أسفل). (شكل 21).



شكل (21)

عملية رصد حركة التربة باتجاهاتها المختلفة (الثلاثة) بوساطة ثلاثة نواويس

4 الأمواج الزلزالية

بؤرة الإشعاع الموجي

في لحظة تكون الشق الأرضي أو الصدع وفي اللحظة التي تتكون فيها البؤرة (Foci) الزلزالية، ترى أن شفتي أو طرفي الصدع أو الشق يتحركان بعنف في اتجاهين متعاكسين. وخلال ثوان معدودة تشق أو تصدع الصخور كيلومترات عديدة قد تصل إلى بضع عشرات من الكيلومترات ومع انتهاء عملية الانشطار تتوقف عن الحركة شفتا الصدع. ونتيجة لهذه الحركة المفاجئة والسريعة ولعملية الانشطار الصخري تنطلق طاقة حركية هائلة على شكل أمواج اهتزازية لدنة مرنة متأرجحة هي الأمواج الاهتزازية الزلزالية المنطلقة من منطلق بؤرة الزلزال.

ينتشر في الأوساط الطبيعية نموذجان من الأمواج الاهتزازية الأساسية: الأمواج الطولية والعرضية وينبعث منهما نموذج ثالث هو الأمواج السطحية. الأمواج مختلفة السرعة، فأكثرها سرعة الأمواج ذات الفترة الزمنية القصيرة والتأرجح البسيط. أما الأبطىء فتتسم بفترة زمنية أطول، وبتأرجح أكبر. لذا يختلف وقت وصولها إلى محطات الرصد.

تتضمن الأمواج الاهتزازية ثلاثة أنواع (شكل22) هي(*):

1 - الأمواج الطولية (P) Longitudinal Waves

إنها أكثر الأمواج الاهتزازية سرعة وتظهر على شريط التسجيل الزلزالي (الأسطوانة) قبل سواها، لذا يرمز لها بالحرف (P) المقتبس من الكلمة اللاتينية (Prima) أي الأول. هذه الأمواج كالأمواج الصوتية في الهواء، إذ إنها تنتمي إلى مجموعة الأمواج التي يؤدي انتشارها إلى الانضغاط والتخلخل الجزيئي أو الصخري، فتزداد كثافة المادة حيناً وتتناقص حيناً آخر، وذلك حسب انضغاط أو تخلخل الجزيئات المادية بشكل متناوب. وهكذا تتحرك الجزيئات المادة إلى الأمام في البداية،ثم إلى الوراء فيما بعد، وذلك باتجاه منحى سير الموجة المتقدمة. وهكذا نجد أن كل جزيئية صخرية تتعرض لعمليتي تشويه أثناء مرور جبهة الموجة الاهتزازية. إذ تتشوه في البدء نتيجة لانضغاطها وتخلخلها وتباعد جزيئاتها ثم تتشوه ثانية بسبب انحنائحها أو دورانها. ونتيجة لذلك تتقدم الموجة الطولية إلى الأمام بسرعة تبلغ (13.5)كم/ث. يعتبر هذا النوع من الأمواج أكثر الأمواج سرعة وتصل إلى محطات الرصد قبل سواها لذا رمز إليها بالحرف اللاتيني (P) . تسبب هذه الأمواج تبدلاً دورياً لحجم الوسط الذي تخترقه، لذا يمكن أن تمر في الأوساط الطبيعية أي الصلبة والسائلة والغازية.

تحدد العلاقة التالية سرعة الأمواج الطولية:

$$VP = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\varphi}}$$

إذ إن:

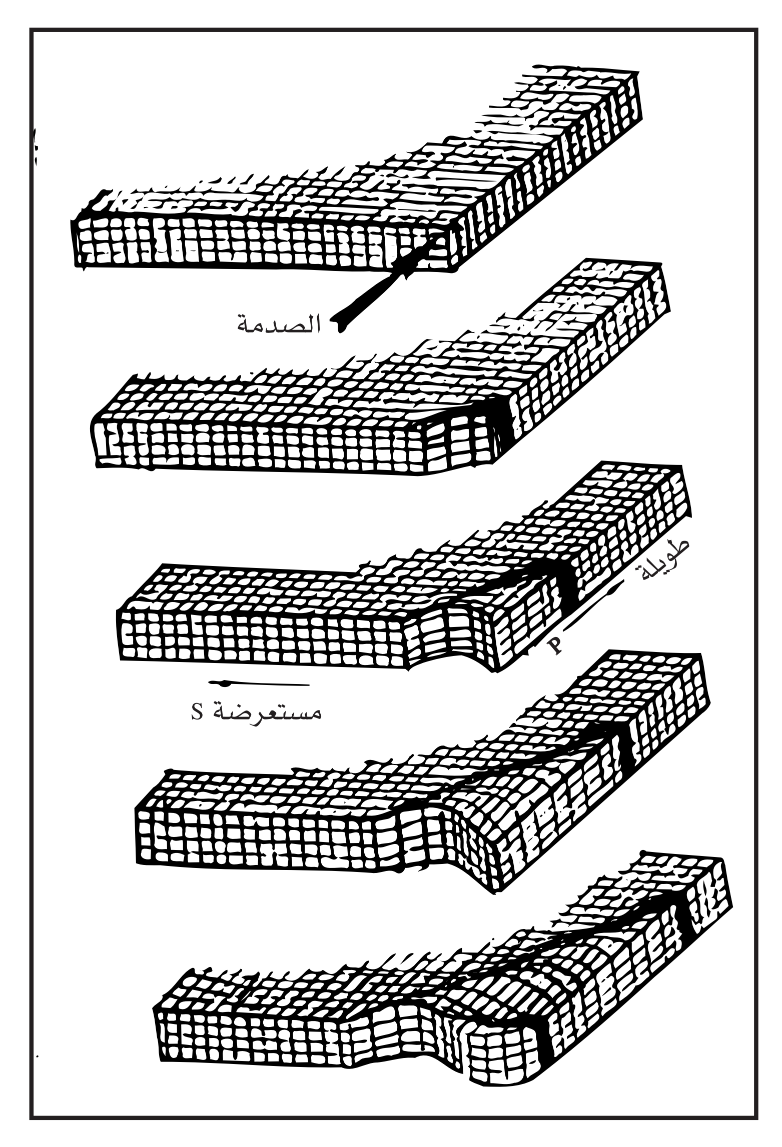
μ- معامل الانشقاق أو الانفاق الصخري.

φ- كثافة الوسط الاهتزازي.

λ- عامل مرتبط بمعامل الانكماش (الانضغاط)K .

أما في الوسط السائل وحيث إن ($\mu = O$) نرى أن سرعة حركة الأمواج الطولية تحددها العلاقة التالية:

(*) Brace A. Bolt. Earthquakes. San Fransisco. 1978



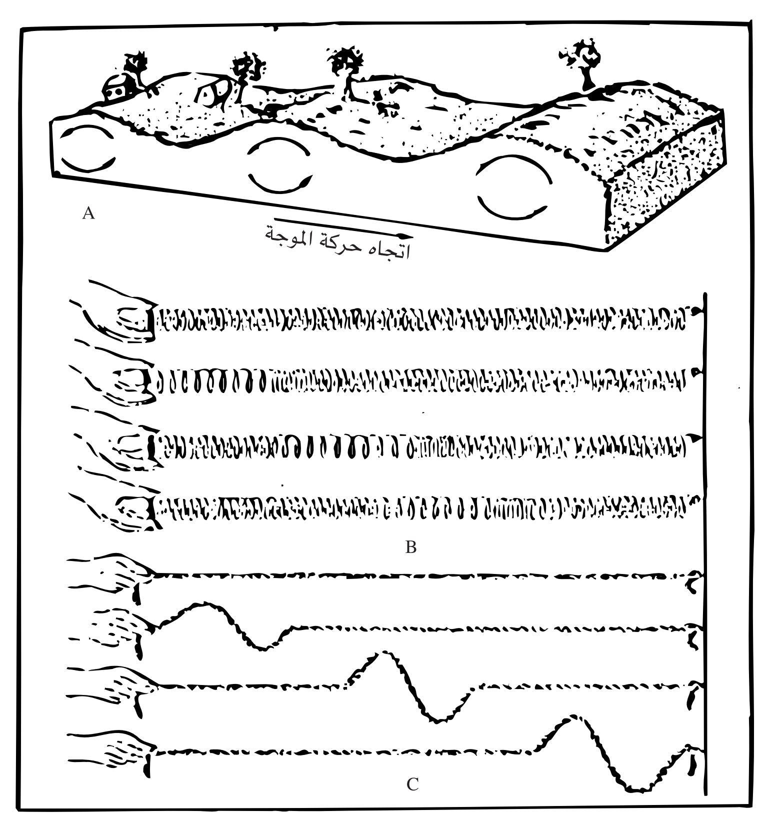
الشكل (22)
طريقة تشكل الأمواج الاهتزازية الطولية P المستعرضة S في الوسط الصلب

$$VP = \sqrt{\frac{\lambda}{\varphi}}$$

نشاهد من الشكل (22) السابق و(23) التالي كيفية حدوث ظاهرة الانضغاط أو الانكماش، أي تزايد الكثافة في الوسط الاهتزازي بسبب قوة صدم جبهة الموجة (P) . وعليه نرى أن كل نقطة جديدة في الوسط الذي تمر به الموجة تندفع إلى الأمام بالنسبة لمصدر قدوم الصدمة (بؤرة الزلزال) مكونة بذلك موجة الضغط والانكماش. ونرى خلاف ذلك، إذا ما حرضنا ظهور الموجة الطولية ليس بواسطة عمليةصدم وإنما بواسطة عملية سحب وشد إلى الوراء نرى في مقدمة الموجة ظاهرة الانفراد والتمدد الجزيئي بدلاً من الانضغاط والانكماش، وستتجه الموجة نحو البؤرة الزلزالية خلافاً لما حدث سابقاً.

2- الأمواج العرضية Transvers Waves (S)

يتسم النوع الثاني من الأمواج الاهتزازية بأنه أقل سرعة في حركته من الأمواج الطولية، لذا فإنه يصل إلى محطات الرصد الزلزالية بعد فترة من الزمن مقارنة بالطولية وقد يتراوح التأخير بين بضع ثوان وعدد من الدقائق، وذلك حسب بعد مركز الزلزال عن محطة الرصد. ومن هنا عرفت باسم الأمواج اللاحقة أو الثانية (Secundar). تقل سرعة هذه الأمواج عن الطولية بمقدار (3) مرة. وتتميز عنها بأنها لاتغير حجم الوسط الذي تمر فيه، ولكنها تغير شكل الوسط الذي تخترقه. وتتسبب في دفع أو دوران (انفتال) المواد باتجاه معاكس. كما أنها تتميز بسعة كبيرة ودور طويل، وتتحرك التموجات التي تحدثها هذه الأمواج باتجاه عمودي على منحى سير الموجة الاهتزازية، لذا سميت بالأمواج العرضية، وتعرف كذلك بأمواج الزحزحة أو الدفع. وبما أن تشكل بؤرة الزلزال في حد ذاتها ليست سوى عملية زحزحة ودفع لطرفي الشق أو الصدع، لذا فإن الأمواج العرضية أو موجة الزحزحة كما أسميناها سابقاً تحمل الجزء الأكبر من الطاقة الزلزالية. تلي الأمواج العرضية الأمواج الطولية (P) في الوصول إلى محطة الرصد لذا يعبر عنها بالحرف (S).



الشكل (23)

طبيعة الأمواج الاهتزازية الزلزالية

A- موجة سطحية   T- لاحظ الحركة الدورانية كموجة البحر

B- موجة طولية   P- تتحرك الجزئيات إلى الأمام والخلف

C- موجة مستعرضة   S- كحركة الموجة

- لاحظ تشويه الشكل عمودياً

يمكننا أن نمثل هذه الأمواج بالحركة التموجية المتعامدة مع خط حركة الأمواج التي تحدثها عملية تحريك لحبل. إذ نشاهد بوضوح ظاهرة تعاقب وابتعاد التموجات من طرف الحبل المتحرك إلى الطرف الآخر (شكل23).

بما أن الأمواج العرضية تغير من شكل الوسط الذي تمر فيه ولا تغير من كثافته، لذا فإنها لاتستطيع إنجاز ذلك في الأوساط السائلة والغازية. وهذا ما يفسر اختفاءها في مثل هذه الأوساط. وكما نعلم أن قرينة الانشطار فيها تعادل الصفر (M = O). أما سرعة الحركة فإنها تحدد بالعلاقة التالية.

$$VS = \frac{\mu}{\varphi}$$

وللإيضاح أكثر عندما تكون ($\mu = \lambda$) فإن نسبة،

($VP: VS = 3$)   وعليه فإن سرعة VP)

(الطولية أكبر بمقدار)(1,7) مرة.

3- الأمواج السطحية Surface Waves (L)

عرفت بهذا الاسم لأن حركتها تمركزت قرب سطح الأرض. وتتميز بأنها ذات سعة ودور زمني أطول من النوعين السابقين، ومن هنا أخذت اسم الأمواج الطويلة كذلك ورمز لها بالحرف (L) أي (Long) . يمكن لهذه الأمواج أن تظهر في مناطق انتقال من وسط إلى آخر (صلب، سائل، غازي) وتشبه في حركتها تموجات الماء التي تشق سطح البحيرة. إن القسم الأكبر من هذه الأمواج يتمركز فوق السطح نفسه (الأرض). وكلما تعمقنا في باطن الأرض قل شأنها لتدني سرعتها وشدتها. أما سرعتها فإنها أقل من سرعة الأمواج الطولية والعرضية وتعادل تقريباً (90٪) من سرعة الأمواج العرضية، ولكن يجب أن نشير إلى أن سعة هذه الأمواج لاتضعف إلا قليلاً من انتشارها بعيداً عن مصدر الزلازل، وبسبب مداها الواسع يمكنها أن تتسبب في أضرار فادحة.

ويمكن لهذه الأمواج في حالات الزلازل المدمرة أن تجتاز كامل سطح الأرض مرتين. وفي بعض الحالات يمكننا ليس فقط الإحساس بها وإنما مشاهدة آثارها على السطح، وبخاصة في أماكن توضع بها وإنما مشاهدة آثارها في السطح وبخاصة في أماكن توضع التشكلات الصخرية الهشة،

إذ تتشكل أمام أعيننا تموجات سطحية مرتفعة ومنخفضة، كأمواج الماء. وجزئيات المادة في الوسط الذي تمر به الأمواج السطحية تتحرك في مدار إهليلجي متعامد مع المستوى الأفقي للأرض.

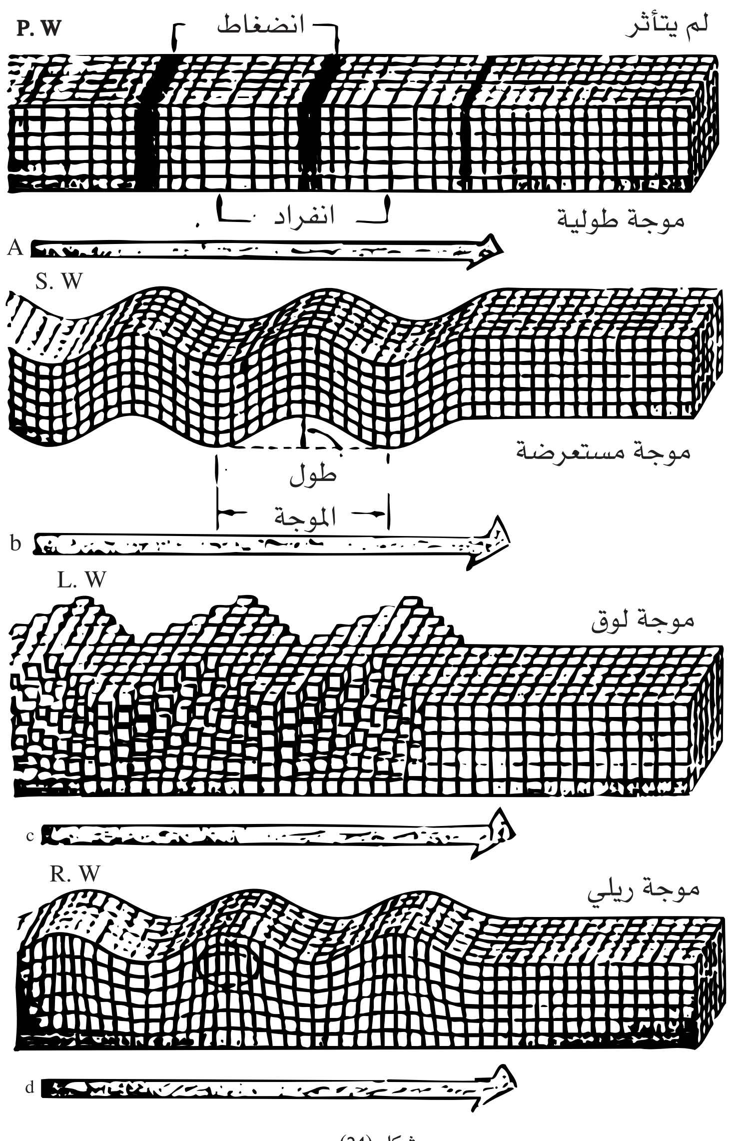
تقسم الأمواج السطحية إلى نموذجين: الأول يسمى أمواج لوف (Love Wave) (شكل24) وتشبه في حركتها الأمواج (S) وليس لها حركة زحزحة عمودية. إنها تدفع بالأشياء بشكل أفقي ومواز لسطح الأرض، ولكن بزاوية يمنى بالنسبة لاتجاه الوجه الأساسي. والثاني يعرف بأمواج رايلي[1*] (Ray Leigh Wave) وتشبه حركتها حركة التموجات البحرية. وتتبعثر جزئيات المادة عند مرورها أفقياً وعمودياً متماشية مع اتجاه حركة الموجة الأساسية.

يجب أن نشير إلى أن الأنواع الثلاثة للأمواج أي الطولية والعرضية والسطحية، تتسبب في تحريك جزئيات المادة بثلاثة مظاهر: الرأسية والأفقية والدورانية. تظهر الحركة الرأسية عندما تصطدم أو تجتاز الأشعة الاهتزازية سطح الأرض بزاوية شبه قائمة (80-90 درجة). مثل هذه الحركةترصد عادة في منطقة البؤرة الزلزالية السطحية والأماكن المجاورة لها مباشرة. وهنا يمكن للأشياء أن تقذف نحو الأعلى. أما الحركات الأفقية فإنها تظهر واضحة من خلال الأشجار المنحنية، وكذلك المراصد والمداخن والمآذن والأبنية أحياناً. أما الحركات الدورانية للأشياء فإنها أقل حدوثاً، ولكنها ليست نادرة. ففي زلزال ألما آتا الكبير (1887) في الاتحاد السوفييت السابق انحرف عمود صخري بمقدار سبع درجات، وفي مدينة بيللونوفي الإيطالية، ونتيجة لزلزال عام (1873) وفوق برج كنيسة انحرفت كتلة جسم تمثال الملاك بحوالي 20درجة.

وهكذا تتعرض جزئيات المادة عند حدوث الزلازل إلى حركات مشوشة مضطربة تبعاً لاتجاهات وعدد الأمواج.

تنتشر الأمواج الطولية والعرضية في باطن الأرض بطريقة معقدة. ومن المعروف أنه كلما اقتربنا أكثر من مركز الأرض، ازدادت المواد انضغاطاً، الأمر الذي يزيد من لدانة ومرونة الصخور، فتزداد سرعة مرور الأمواج عبرها. ولكن عندما تنتقل هذه الأمواج من وسط طبيعي سرعة الأمواج فيه أبطأ إلى وسط سرعة أمواجه أكبر، تتعرض الأمواج الاهتزازية

(1*) Ward. j. Tarbuck & Frederick. Lugens. Earth Sceince. Ohio. 1976

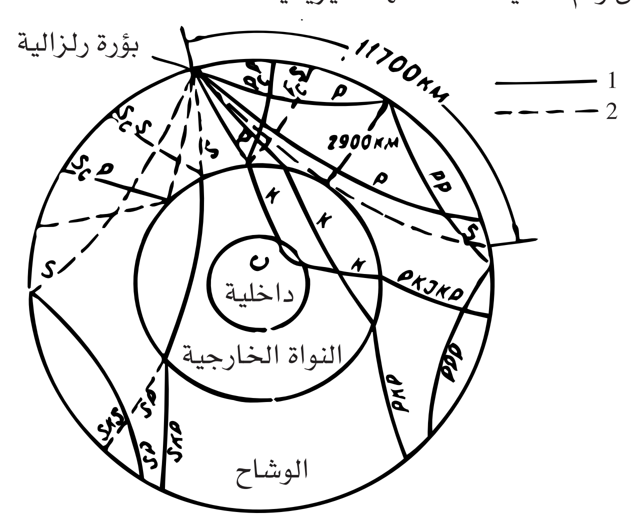


شكل (24)

مظهر مجسم لمختلف الأمواج في الكتلة الصلبة

للانحراف والانعطاف. فعندما تهبط هذه بانحدار نراها تنحرف تدريجياً أكثر فأكثر ثم تصبح أشد استقامة، ولكنها لاتلبث أن تنحرف وتنعطف ثانية نحو سطح الأرض وبزاوية قائمة أو شبه قائمة، وتعيد سيرتها الأولى. ويلاحظ أن الأمواج كلما كانت أشد انحداراً كزاوية باتجاه الأعماق، كان تعمقها أكبر في باطن الأرض، كما أن سرعتها تتعاظم في نفس الوقت، وتجتاز مسافة أبعد باتجاه السطح الخارجي. وهكذا وبقياس بسيط لفترة مرور الأمواج عبر الأرض يمكننا حساب سرعتها في أعماق الأرض ودرجة لدونتها.

إضافة للأمواج الأساسي(P و S) التي تسجلها محطات الرصد الزلزالية يمكننا التعرف على أشكال أخرى من الأمواج. وسنتوقف عند أبرزها. لايمكن للأمواج العرضية أن ترصد على بعد يزيد على (11700)كم من مكان البؤرة الزلزالية السطحية (شكل 25). كما أنه على عمق (2900) كم في باطن الأرض لاترصد هذه الأمواج. وهنا تبدأ حدود النواة الخارجية التي يبدو أنها ذات سمات سائلة. وبهذه الطريقة تم الكشف عن النواة الخارجية للأرض وتم تحديد خصائصها الفيزيائية.

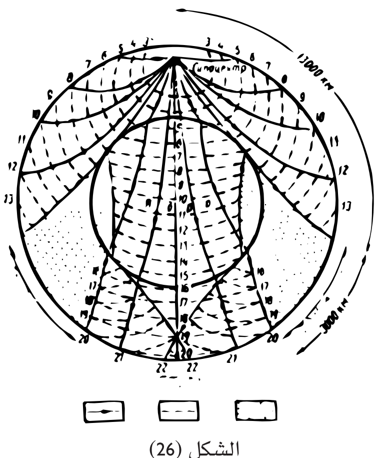


شكل (25)

1- حركة الأمواج الطولية في الأرض (P)

2- حركة الأمواج المستعرضة في الأرض (S)

ويلاحظ أن الحدود ما بين النواة وطبقة المانتيا التي تعلوها تعكس جيداً الأمواج الاهتزازية، ويرمز للأشعة الطولية والعرضية المنعكسة من طبقة النواة بالأحرف(Sc S وPc p) كما أن سطح الأرض يعكس الأمواج. إذ نجد أن الأمواج (S, P) القادمة إلى السطح الخارجي ترتد ثانية بعد اصطدامها به نحو الأعماق مباشرة. ويرمز لها بعد انعكاسها بالأحرف (SS وPP) . هنالك العديد من الأمواج الأخرى، التي سمحت مراقبتها ودراستها بالتعرف أكثر فأكثر على أعماق الأرض وما تحتويه من مواد. ولقد تبين أن الأمواج الطولية يمكنها أن تخترق النواة السطحية السائلة للأرض ويرمز لها هناك بحرف (K) . ويمكن للأمواج العرضية (S) أن تتحول عند حدود النواة إلى أمواج طولية وتعتبر النواة كطولية وتمثل بحرفي (SK)، ولكنها عند حدود المانتيا تنقلب من جديد إلى عرضية ويرمز لها (SKS) وتصل في النهاية إلى سطح الأرض الخارجي. إن نظرة لهذا الشكل تبين لنا أن واقع الأمواج الاهتزازية أعقد مما نتصور. يقول مؤسس علم الزلازل العالم الروسي ب.ب. غوليتصين[(2*)]: «يمكنا أن نشبه كل زلزال بفنار يضيء لنا خلال لحظات جوف الأرض. ولكنه في الواقع فنار التخريب والدمار والموت».



الشكل (26)

اتجاه طرق الأمواج الاهتزازية ومواقع مناطق الظل الزلزالية 1- أمواج اهتزازية 2- جبهات موجية 3- الظل الزلزالي

(2*) ب. ا. باريسوف. الزلازل. الكارثة والإنسان. موسكو. 1982

كما أشرنا آنفاً عندما تنتقل الإشعاعات الاهتزازية من وسط فيزيائي إلى آخر مغاير تتعرض للانحراف، ولوحظ أنه كلما كانت المسافة أطول بين المركز الباطني للبؤرة الزلزالية والمركز السطحي لها، كلما كان الانحراف أشد. ويلاحظ أن الانحراف الأكبر للإشعاعات هذه إنما يتمركز عند حدود النواة الأرضية.

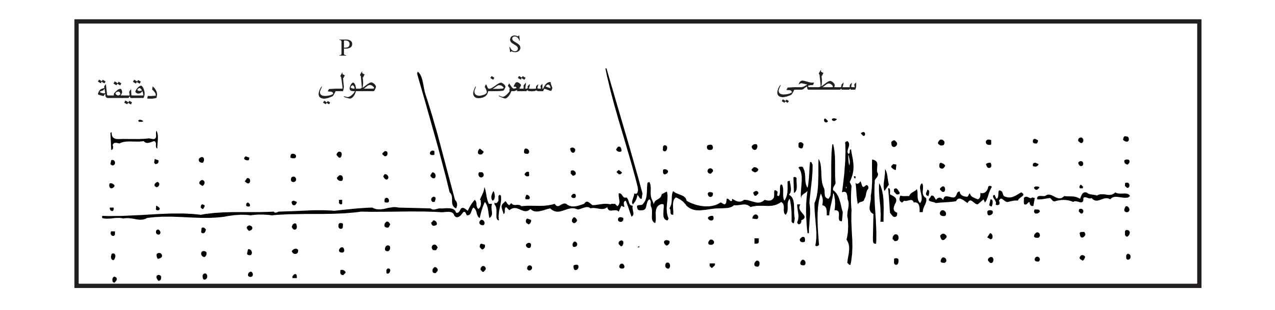
وعليه نجد أن المناطق المعاكسة موقعاً لمركز البؤرة الزلزالية السطحية لاتنتشر فيها الأمواج الاهتزازية وتعرف باسم منطقة الظل الاهتزازية (شكل26). فمثلا نجد أن الأمواج الاهتزازية في منطقة الجزر اليابانية لاتشاهد في أمريكا الوسطى وغرب أفريقيا. وتبتعد منطقة الظل عن البؤرة الزلزالية السطحية بمسافة تصل إلى (13-16) ألف كم[3*].

يعرف التسجيل التخطيطي الذي نحصل عليه في محطات الرصد نتيجة للهزات الأرضية بالسيسموغرام (Seismogramm). ولو نظرنا إلى الشكل الذي ترسمه الهزات الأرضية على أسطوانة جهاز التسجيل والمعبر عنه بالسيسموغرام لوجدنا في بدايته تأرجحاً بسيطاً وفي منتصفه يصل مدى الاهتزاز سعته العظمى، وبعد ذلك يهدأ هذا من جديد، (الشكل27). إن ما ذكرناه من تباين إنما يرتبط باختلاف زمن وصول الأمواج الاهتزازية الزلزالية: ففي بدء شريط التسجيل وحيث السعة الصغيرة ترى الحرف (P) الذي يرمز إلى الأمواج الطولية الأسرع من سواها. وبعد ذلك وعبر فترة من الزمن والتي تحدد بعد البؤرة الزلزالية عن محطة الرصد تظهر تموجات عنيفة تشير إلى وصول الأمواج العرضية (S). وبعد العديد من الاهتزازات العنيفة تأخذ هذه التأرجحات والتموجات بالتضاؤل، ولكن بسرعة ملحوظة نلاحظ ظهور تأرجحات متفردة ذات مدى كبير جداً. ومثل هذه التأرجحات تعبر عن وصول الأمواج السطحية (L). في بعض الحالات لايسجل قدوم الهزات العرضية بشكل واضح في السيسموغرام، لذا لاتظهر عليه سوى الطولية والسطحية.

وهكذا نلاحظ أن السيسموغرام يعطينا تصوراً حقيقياً عن طول فترة الزلزال وعن شدته وسعة اهتزازاته.

من الأمور الصعبة في الدراسات الزلزالية التعرف على أبعاد البؤر

(3*) Haroun Tazieff. Guandia Terre Tremble Paris. 1962 (مترجم إلى الروسية)



شكل (27)

مظهر الأمواج الاهتزازية على اسطوانة أو شريط التسجيل الزلزالي

p- موجة طولية

S- موجة مستعرضة

L- موجة سطحية

لاحظ الفارق الزمني بالدقائق بين لحظات وصول الأمواج

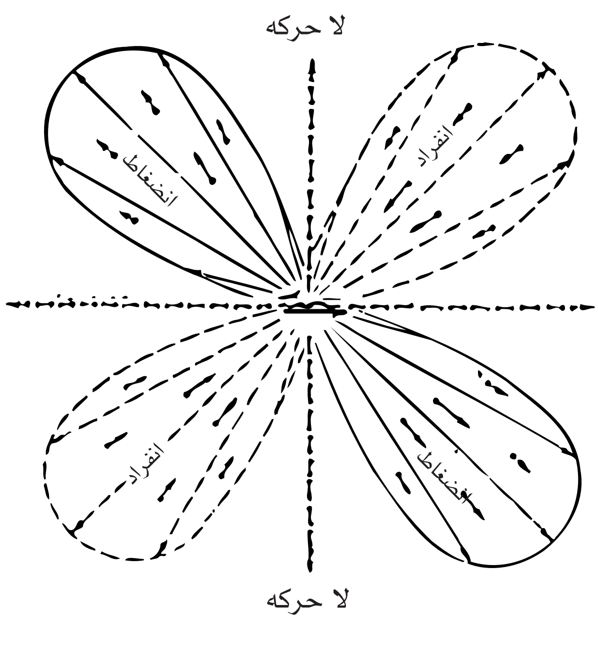
الزلزالية والكشف عن خصائصها. وهي أمور بقيت مبهمة زمناً طويلاً. فماذا أنجز علماء الزلازل (Seismolist) في هذا المجال.

يجب أن نشير بادىء ذي بدء إلى أن بؤرة الزلزال ليست سوى شق أو صدع متحرك الطرفين. وليست مركز انفجار باطني أو هبوط وهدم داخلي كبير. كما أنها ليست مكان تبلور لحظي وجديد.... إلخ.

إن ما يثبت أن الزلازل تلد وتظهر في أماكن نشوء وتكون الشقوق، هو ظهور التكسرات والتصدعات الكثيرة على سطح الأرض وبخاصة عندما تكون الزلازل قوية وقريبة نسبياً من سطح الأرض[(4*)].

ولكن ما هو واقع تلك الزلازل الباطنية العميقة التي لاتظهر تأثيراتها الشقية والصدعية على سطح الأرض؟ إن مظاهر التشقق السطحية لاتعطينا هنا الجواب الصحيح. إلا أنه من السهولة بمكان الإجابة عن هذه المسألة. وعليه يمكن القول: لو كانت بؤر الزلازل مراكز انفجار باطني لظهرت أمواج ضغط دائرية الانتشار حول بؤرة الزلزال، إلا أننا نرى في الواقع أن الأمواج الطولية والعرضية التي تتعرض لعمليات الانعكاس والانكسار ترد إلى سطح الأرض وبشكل دائم من الأسفل إلى الأعلى (شكل28). وهذا يعني لو أن الزلزال عبارة عن مكان انفجار لكانت حركة جزئيات التربةفي البداية وفي كل محطات الرصد متجهة نحو الأعلى (أي موجة ضغط). ولو كان الزلزال انهداماً باطنياً لاتجهت حركة جزئيات التربة مباشرة فوق البؤرة نحو الأسفل (أي موجة تخلخل وانتشار). وبالواقع عندما رسم عالم الزلازل الياباني هوندا لأول مرة على الكرة الأرضية تعاقب الإشارات (+و-) نجده قد اكتشف في حقيقة الأمر لوحة طبيعية بديعة. ونرى في هذه اللوحة أن كل الكرة الأرضية قد قسمت إلى أربعة أجزاء غير متساوية (شكل28) اثنان منها يحتويان على إشارة (+) وترمز إلى قدوم الأمواج الاهتزازية الضاغطة. والجزآن الآخران رمز لهما بإشارة (-) أي وصول ومكان أمواج التخلخل. لايمكن لمثل هذه اللوحة أن تتحقق إلا إذا كان مصدر هذه الإشعاعات الاهتزازية شقاً أو صدعاً متحركاً (شكل29). فالجناح الأعلى للصدع يدفع الأمواج الانضغاطية يميناً والأمواج التخلخلية يساراً. أما في الجناح الأسفل

(4*) yoshiofukao. Seismic Tomogram of the Earth,s Mantle Geodynamic Implicatios Science. Vol. 285. Oct. 1992



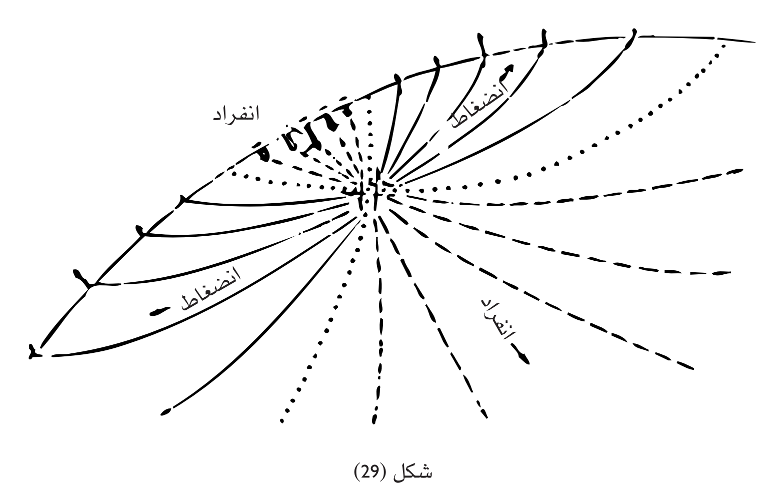
شكل (28)
تكون أمواج الانفراد والإنضباط في البؤرة الزلزالية

للشق أو الصدع فنرى حركة معاكسة لحركة الأمواج الاهتزازية لاتظهر الأمواج الطولية فوق وأسفل الشق تماماً (زاوية 90) في البداية وحركة الصدع أو الشق بمحاذاة هذه الأمواج صفر. ولكن تظهر هنا أمواج لاحقة فيما بعد قادمة من الجوانب أما الحركة عبر الشق وباتجاهه فإنها متوازنة على طرفي الشق الأيمن والأيسر. كما أن الحركة في الشق نتيجة لانطلاق الأمواج الطولية لاتظهر في البداية في نفس هذا الاتجاه. ونتيجة لذلك يظهر لنا شكل ورقة رباعية الأطراف (نبات النفل).

ومن الطريف أن نذكر أن هذا الشكل يتكرر ثانية إذا ما تغير اتجاه حركة الصدع بمقدار 90درجة وتتشكل في نفس الوقت منطقتان إحداهما منطقة انضغاط والأخرى منطقة تخلخل. أما حركة طرفي الصدع فإنها معاكسة للحركة السابقة، فتتحول الحركة من اليمين إلى اليسار والعكس.

أما على سطح الأرض فاللوحة تبدو مختلفة قليلاً بسبب التغيرات التي تصيب اتجاه الأمواج الاهتزازية. ولكن مع ذلك تبقى الأرض مقسمة إلى أربعة أقسام كالسابق. وعليه يمكن القول إن ظاهرة تعاقب مناطق الانكماش والانضغاط والتخلخل هي قاعدة ثابتة بالنسبة لكل الزلازل. وهذا الواقع يشير إلى حقيقة مفادها أن كل أنواع الزلازل ليست سوى شقوق تتشكل في لحظات أو فترة زمنية قصيرة جداً، وبامتداد كبير يتناسب مع شدة الزلزال وطبيعة الصخور التي تشكل فيها الزلزال.

ويمكننا الآن استغلال انتشار رموز حركة الأمواج الطولية (+و-) على سطح الأرض لتحديد مكان انتشار سطوح الانفصال والتشقق في البؤرة الزلزالية، ونحدد اتجاه امتدادها. لذلك نشاهد في نشرات المحطات الزلزالية إشارات واضحة إلى الاتجاه الأولي للأمواج الاهتزازية الطولية، ويستعاض أحياناً عن الإشارات (+و-) بالأحرف (P-C) والتي تعني الانضغاط والتخلخل بالتالي. وعندما تحمل الإشارات (+و-) على مجسم للكرة الأرضية يختار موقع لسطحين متعامدين يقسمان في مكان البؤرة الزلزالية الإشعاعات الاهتزازية إلى أربعة أقسام. اثنان منها ضغطيان والآخران تخلخليان. وفي نفس الوقت لابد من الاستعانة بمعلومات ومعطيات إضافية لتحديد مكان الانكسارات ويستعان عادة لتحقيق ذلك بالمعطيات البنائية خاصة، أي المعطيات عن حركات القشرة الأرضية.



شكل (29)
توزع وقدوم أمواج الانفراد والانضغاط عند سطح الأرض

أين تتمركز البؤرة الزلزالية

يكثر حدوث الزلازل على سطح الأرض. ويبلغ عددها مئات الآلاف سنوياً. أي بمعدل (1-2) هزة كل دقيقة، ولكن شدتها متفاوتة كثيراً. وفي الواقع يمكننا أن نقسم كل الزلازل إلى مجموعتين كبيرتين:

1 - الزلزل باطنية المنشأ، وهي الأكثر تأثيراً في الطبيعة والإنسان.

2 - الزلازل الخارجية المنشأ، وهي زلازل ضعيفة عادة قياساً بالزلازل الباطنية، وهي ذات تأثير محلي محدود. وتتكون غير بعيد عن سطح الأرض. بينما نجد في المجموعة الأولى أن عمقها قد يصل إلى أكثر من 600كم.

تتضمن الزلازل الباطنية المنشأ (Indogenos) نوعين:

أ- الزلازل البنائية (Tec Tonic) المنشأ.

ب- الزلازل البركانية المنشأ.

إن سبب ظهور الزلازل البركانية إنما يعود إلى ظاهرة انفجار البركان نفسه، إذ تندفع الغازات والصهاري الباطنية بعنف نحو الأعلى مشققة سطح الأرض وقاذفة ما تحمله إلى الجو مؤدية إلى حدوث أمواج اهتزازية قوية ولكنهامحدودة التأثير والبعد، إذ يضعف تأثيرها بشدة إذا ما ابتعدت عن مكان البركان. أما النوع البنائي فهو الأهم والأكثر قوة وعمقاً، والسبب الرئيسي لكل الكوارث البشرية والبيئية والمؤثرة بشدة على القارات والمحيطات. أما الزلازل الخارجية المنشأ (Exogenos) فإنها كثيرة الحدوث ولكنها ضعيفة كماذكرنا سابقاً. وتشمل هذه الزلازل:

1 - الزلازل المرتبطة بعوامل ومظاهر الحت مثل الانزلاقات الصخرية والانهيالات الثلجية وانجرافات التربة الواسع النطاق من فوق السفوح الجبلية انجرافاً قوياً وسريعاً.

2 - هناك الزلازل الانهيارية، كالانهيارات الباطنية القارية والبحرية. وتشاهد في مناطق انتشار الصخور الكارستية (الصخور الكلسية خاصة). وذلك لأن المياه تحل المركبات الكلسية وكثيراً ما تشكل مغائر واسعة تتعرض مع الزمن سقوفها كاملاً أو جزئياً للخفس والسقوط. مؤدية بذلك إلى ظهور موجات اهتزازية ضاغطة.

جـ- تشكل أحياناً الأمواج البحرية والمحيطية العاتية أمواجاً اهتزازية نتيجة لارتطامها الشديد بالشواطىء. كما أن الشلالات العظيمة يمكن أن

تكون مثل هذه الأمواج كشلالات نياغارا. وبالطبع مثل هذه الزلازل بسيطة جداً أو لاتحدث أية أضرار.

د- الزلازل الجوية: أي المرتبطة بظواهر جوية، وهكذا ربط بعض العلماء قسماً من الزلازل السطحية بالظواهر الجوية. ويقوم هذا الافتراض على أساس أن أكثر الزلازل التي تحدث في النصف الشمالي للكرة الأرضية إنما يتم حدوثها في فصل الشتاء، وبعضها قد حدث بعد العواصف الشديدة. ولقد تبين أن السبب الأساسي يرتبط بالتبدل القوي لما يعرف بتدرج أو تبدل (gradient) قيم الضغط الجوي. وكلما كانت القيم حادة التبدل كلما ازداد عدد الزلازل. كما هو موضح بالجدول التالي[5*]:

تبدل قيم الضغط الجوي بالملم	12,6	8,8	5,2	1,6	0,4
عدد الزلازل	148	128	113	103	27

ولكن يجب أن نوضح أن تبدل قيم الضغط الجوي ليس السبب الحقيقي لظهور الزلازل، فلكي يظهر مفعول هذه التبدلات لابد من أن تكون المنطقة الزلزالية مهيأة لحدوث الزلازل بنائياً. أي أن المنطقة مشققة ومصدعة بعمق وظاهرة التوازن القشري الأرضي في المرحلة الحرجة، التي لاتحتاج إلا إلى مؤثرات بسيطة نسبياً كاختلاف قيم الضغط الجوي.

هـ- يمكن أن نضم إلى الزلازل السطحية، الزلازل الإنسانية المنشأ، كالزلازل الضعيفة التي تشكلها الانفجارات النووية الكبيرة وتفجيرات هدم الصخور وانهيار السدود وضغط الأبنية في المدن العملاقة. وسنتكلم عن هذه الزلازل مفصلاً فيما بعد.

وهكذا نرى الأنواع المتعددة للزلازل ولكن اهتمامنا الأول سينصب على الزلازل الباطنية البنائية، لما لها من تأثير كبير على القشرة الأرضية وعلى الإنسان وفعالياته الحياتية كذلك.

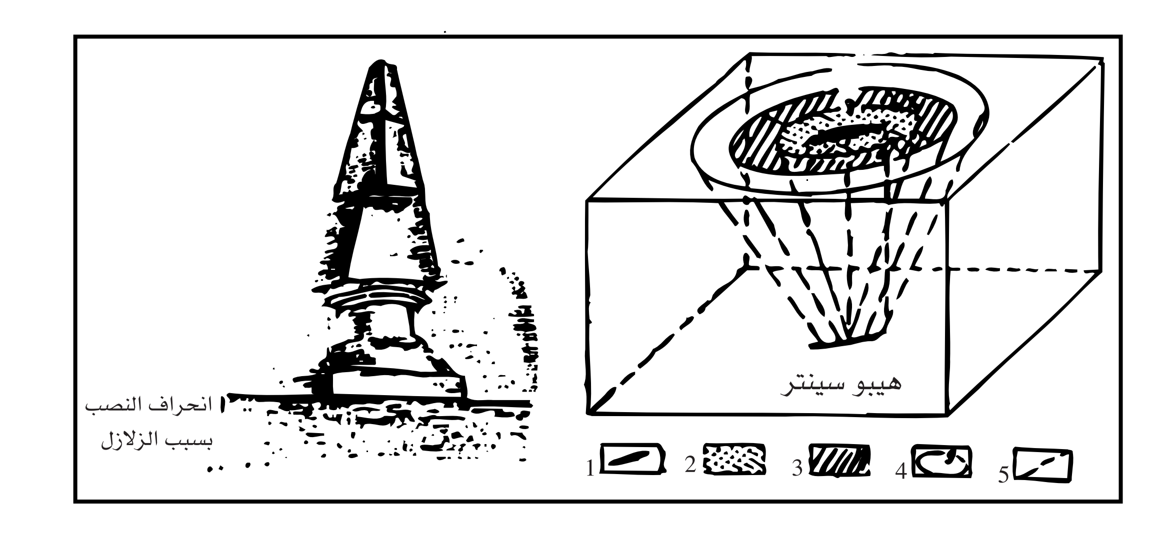
نميز في الساحة الزلزالية العديد من المراكز وذلك بدءاً من نقطة حدوث الزلزال وحتى آخر امتداد مؤثر له ومحسوس، ضمن هذه الساحة نميز البؤرة الزلزالية الباطنية (hypocentre) وهي مكان نشوء وظهور الزلازل وحدوث الشقوق والصدوع. ويعبر عنه في المصورات بشكل دائري وبيضوي.

(5*) جوكوف، المصدر السابق

أما في المنطقة الواقعة فوق البؤرة الباطنية مباشرة فتتمركز البؤرة السطحية (epicentre) وهي المنطقة التي تشهد التأثير الزلزالي التخريبي الأعظمي. إذ تهدم هنا المنازل وتتشقق الأرض وتنهار الصخور وتجري هنا أهم التبدلات في القشرة الأرضية. وهنا أيضاً نشاهد أعظم الخسائر البشرية والاقتصادية. أما مساحة هذه البؤرة فتتباين حسب عمق البؤرة وشدة الزلزال. إذ إنها قد لاتتجاوز بضع عشرات الكيلومترات المربعة كما في زلزال أغادير عام (1960) في المغرب العربي، ولكنها قد تصل إلى مئات الكيلومترات المربعة كما في زلزال ألما آتا المشهور في الاتحاد السوفييتي السابق. إذ بلغت مساحة البؤرة السطحية حوالي 288كم2 أي (6\38)كم. يجب أن نشير إلى أن عمق البؤرة الزلزالية في أغادير لم يزد على ثلاث كيلومترات ولم تزد دائرة التخريب على مساحة (50)كم2 وعلى بعد 100كم من المدينة لم يشعر الناس بالهزة الأرضية. أما في زلزال عشقباد في سنة 1948 فلقد كان عمق البؤرة الباطنية حوالي (21.15)كم وبلغت مساحة البؤرة الخارجية (1500)كم2 أي (100\15كم) وكانت قوة الزلزال مدمرة.

يجب أن نشير إلى أن المساحة المتضررة بدرجات مختلفة أكبر مما ذكرنا بكثير، إذ تجاوزت (10000)كم2 في زلزال عشقباد وبلغت (6000)كم2 في ألما آتا. تعرف هذه المساحة المتضررة بالزلازل باسم (Pleistoseist) أي مساحة التأثير الزلزالي المؤثر (شكل30).

والآن كيف نحدد موقع البؤرة الزلزالية الباطنية؟. لنتخيل أن الليل ساكن والظلمة حالكة حول محطة الرصد الزلزالية ولنعتبر أنها محطة كيشينيف في منطقة جبال الكاربات في جنوب غرب روسيا. فجأة ينفجر صوت جرس الإنذار في المحطة بقوة ويقفز قيم الجهاز من مكانه مذعوراً. لقد حدثت هزة أرضية عنيفة في مكان ما. يتجه القيم إلى جهاز التسجيل مباشرة Seismograph وينتظر دقائق ليهدأ الجهاز وينظر إلى التموجات التي سجلتها إبرة الجهاز على شريط التسجيل (Seismogramm). وبعد ذلك يفرد شريط التسجيل ويحدد زمن حدوث الزلزال ويبين أوقات وصول الأمواج الاهتزازية الطولية والعرضية بدقة مستعملاً أشرطة التسجيل المختلفة الاتجاه، كما أشرنا سابقاً (الأفقي: شمال ـ جنوب وغرب ـ شرق والرأسي تحت -أعلى).



الشكل (30)

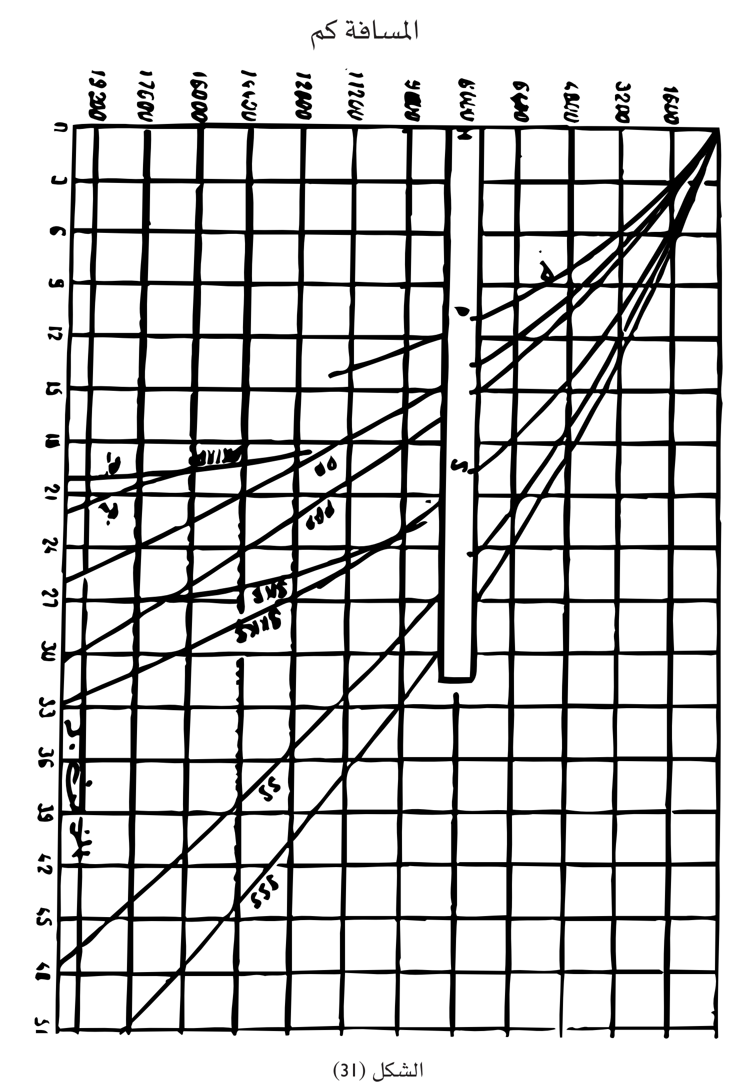
مجسم لمنطقة الزلازل

1- البؤرة السطحية
2- منطقة التدمير
3- منطقة الهزات المؤثرة
4- خطوط الاهتزاز المتساوية
5- الإشعاع الاهتزازي
هيبوسينتر بؤرة عميقة

تصل أولا الأمواج (P) وهي الأوضح في شريط التسجيل العائد للجهاز الشاقولي، وذلك لأنها تصل إلى الجهاز من العمق أي من الأسفل بشكل رأسي. أما الأمواج السطحية التي تصل بعد فترة وجيزة بعد الأمواج (P) فإنها تعطينا صورة أولية عن بعد الزلزال. فالفارق بين سرعتي الأمواج (P) والسطحية (S) هو المهم. لقد تأخرت السطحية في وصولها إلى محطة الرصد حوالي خمس دقائق. وهذا يعني أن البعد الأولي للزلزال (800)كم. ولكن لتحديد أدق لابد من الأخذ بعين الاعتبار زمن وصول الأمواج العرضية (S) والفارق بين زمني (P-S) هو الذي يبين البعد الأدق لمركز الزلزال. لهذا على مراقب الجهاز المجرب أن يرى على شريط التسجيل في الجهاز الأفقي زمن قدوم أولى الأمواج العرضية ويقارنها مع زمن وصول الأمواج الطولية، ولو فرضنا أن الفارق بين (P-S) يعادل دقيقة واحدة و (26)ثانية. لوجدنا حسب معطيات أنموذج قياس بعد الزلازل أي الهدوغراف Hodograph (شكل31). إن البعد الحقيقي هو (840)كم.لله أما الآن فعلينا أن نحدد الاتجاه الذي يحدد مكان البؤرة الزلزالية. في شريط التسجيل ذي الاتجاه (شمال ـ جنوب) نرى أن قدوم الأمواج الطولية واضح جيداً. وفي الشريط (غرب ـ شرق) المعطيات غير واضحة. نلاحظ أن اتجاه حدوث الزلزال في شريط التسجيل (شمال ـ جنوب) يشير إلى الشمال. وفي الشريط الرأسي لقد سجلت موجة الانضغاط (+). وهذا يعني أن البؤرة الزلزالية السطحية تقع في الاتجاه المعاكس أي في الجنوب. وإذا ما كانت حركة الصدع متجهة شمالاً وإلى الأسفل (جنوب) لدل هذا على أن موضع أمواج التخلخل في بدء حركتها لم تنطلق من البؤرة الزلزالية. لذا يجب أن نبحث عنها شمالاً. وهكذا فإن البؤرة بالتحديد تقع في الجنوب وعلى بعد (840)كم من مدينة كيشينيف وفي مكان ما في بحر إيجة في البحر المتوسط[*6].

إن تحديد موقع البؤرة الزلزالية اعتماداً على محطة رصد واحدة يوقع في الخطأ. لذا لابد من الاستعانة بمعطيات العديد من المحطات التي رصدت الهزة الأرضية ومن ثم تجميع هذه المعطيات في مركز من مراكز الرصد الإقليمية الأقرب لموقع الزلزال وتحليلها. فكل محطة ترسم قوساً يمتد ما بين المحطة ومركز الزلزال. وإن نقطة تقاطع هذه الأقواس تعين

(*6) شيبالين المصدر السابق



الشكل (31)

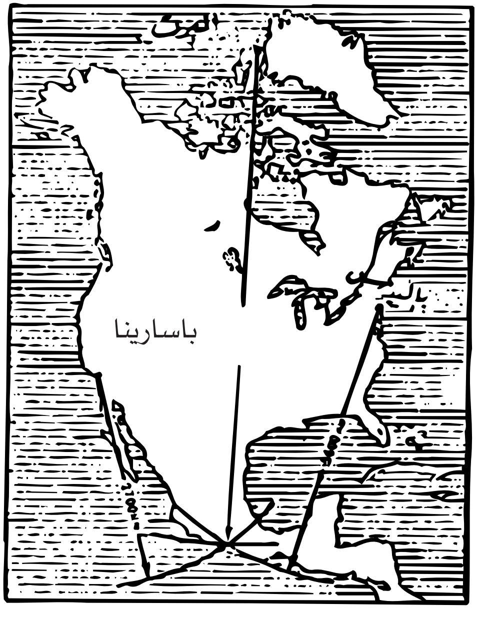
منحنى زمن الارتحال لتحديد بعد وزمن الزلازل: P- موجة طولية S- موجة مستعرضة skks, ss, sks, pp إلخ أمواج مشتقة عن P و S.

بدقة مكان البؤرة (شكل32). ويجب ألا يقل عدد هذه المحطات عن ثلاث. لقد كان سابقاً يتم التحديد على كرة كبيرة للأرض أو على شبكة (وولف). ولكن الآن يمكن تحديد البؤرة عبر دقائق بوساطة الحواسب الإلكترونية وإذا ما كانت البؤرة محاطة بالمحطات من كل الجهات فخطأ التحديد لن يزيد على 10كيلومترات.

يمكننا أن نحدد كذلك موقع بؤرة الزلزال السطحية بأن نقارن أشرطة التسجيل المختلفة للزلزال في محطة واحدة. ونرى أن أكثرها ثقة تلك التسجيلات التي نجد فيها تأرجح حركة النواس ينطبق مع اتجاه الإشعاعات الاهتزازية. أما تأرجحات الأمواج الاهتزازية في أشرطة التسجيل ذات الاتجاهات الأخرى فإنها ستصغر كلما ازدادت الزاوية (a) الواقعة بين اتجاه الإشعاعات الاهتزازية وبين اتجاه تأرجح النواس. ويمكن تحديد هذه الزاوية بالعلاقة التالية:

$$tga = \frac{X2}{X1}$$

إذ إن X2 و X1 مدى التأرجح في الأمواج الطولية التي سجلت بواسطة تسجلين متعامدين في اتجاههما.



شكل (32)
تحديد موقع البؤرة الزلزلية السطحية

وهكذا عندما نحدد اتجاه الإشعاعات الاهتزازية الطولية ونحمل عليها البعد البؤري السطحي للزلزال نحصل على موضع هذه البؤرة.

هنالك علاقة حسابية أخرى تحدد بعد البؤرة الزلزالية[*7] وتأخذ الصيغة التالية:

$$\Delta = \frac{VP.\ VS.\ t}{VP.\ VS}$$

إذ نجد أن VP تمثل سرعة الأمواج الطولية، VS ـ سرعة الأمواج المستعرضة، t- الفارق الزمني بين لحظتي وصول الأمواج الطولية والمستعرضة.

ختاماً علينا أن نشير إلى أن الأمواج الاهتزازية المنطلقة من البؤرة الزلزالية العميقة تتجه عمودياً نحو السطح في منطقة البؤرة السطحية. وكلما ابتعدنا عن هذه المنطقة نجد أن الأمواج تصل إلى السطح الخارجي بزوايا مختلفة، تتناقص طرداً مع مقدار البعد عن مركز البؤرة السطحية، وحركة التربة هنا تموجية بينما هي رأسية عمودية في منطقة البؤرة. تتناقص شدة الأمواج الاهتزازية كلما ابتعدنا عن البؤرة السطحية إلا أن تختفي تماماً ووجد أنه إذا ما تضاعفت المسافة مرتين عن نقطة البؤرة تناقصت شدة الأمواج بحوالي (10-12) مرة، وإذا ما زاد البعد على عشرة أضعاف تنخفض الطاقة الاهتزازية آلاف المرات.

ما هو عمق البؤرة الزلزالية؟

مسألة تحديد عمق البؤرة الزلزالية الباطنية قضية أكثر تعقيداً من تحديد مكان البؤرة السطحية. ولكن يمكن الآن تحديد العمق وبدرجة جيدة من الدقة اعتماداً على معطيات محطات زلزالية عديدة موثوقة، وبتحليل للأشكال البيانية السيموغرافية لدى هذه المحطات ثم دراسة انتشار خطوط الاهتزاز المتساوية (Isoseist) أي الخطوط التي تصل النقاط والمراكز ذات الشدة الزلزالية الواحدة، دراسة واعية، وبالواقع توجد طرق متعددة لتحقيق عمق البؤرة الزلزالية.

لقد اقترح العالم ميدفيدوف Medvedev. S.V علاقة تعتمد على الارتباط المساحي بين مختلف خطوط الاهتزاز المتساوية وهكذا استعمل العلاقة

(*7) ا. م غورباجوف. الجيولوجيا العامة، موسكو 1981.

الرياضية التالية لتعيين العمق:

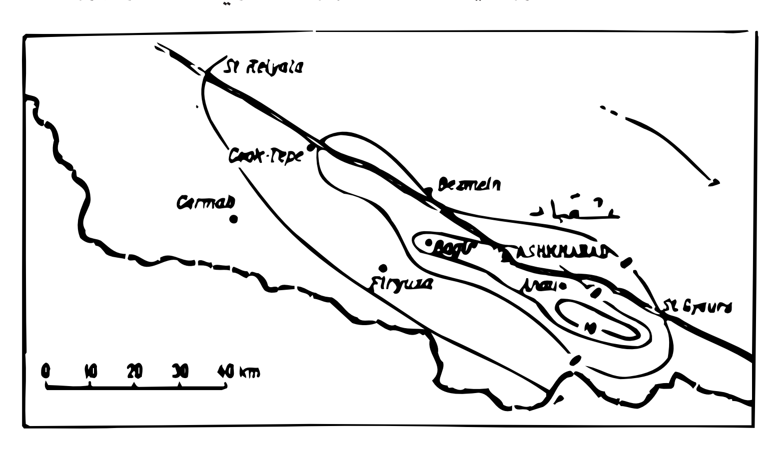
$$H = 7 \sqrt{S2 - S3}$$

إذ إن:

H- عمق البؤرة الباطنية للزلزال.

S2 ـ المساحة المحصورة بين خط الاهتزاز المتساوي الثاني والبؤرة السطحية.

S3- المساحة المحصورة بين خط الاهتزاز المتساوي الثالث والبؤرة.



شكل (33)
خطوط الاهتزازات المتساوية
الشدة لزلزال عشقباد 1948

فلو طبقنا هذه العلاقة على زلزال مدينة عشقباد المشهور الذي حدث في اكتوبر من عام 1948، لرأينا أن مساحة (S9) تعادل 500كم^2 و S8=2200كم^2 (شكل 33) ولو طبقنا الأرقام السابقة حسب المعادلة لرأينا أن عمق البؤرة يعادل 12كم. لدينا علاقة أخرى لتحديد عمق البؤرة الزلزالية هي:

$$F = 1,5 + 3 \log \left(\frac{r^2}{H^2} + 1 \right)$$

نجد هنا أن

F- شدة الزلزال في البؤرة السطحية.

r- قطر المساحة التي شعر خلالها بالهزة الأرضية.

H- عمق البؤرة.

ولكن إن كانت المسافة البؤرية صغيرة ولدينا محطة رصد واحدة فقط للقياس، يمكن أن تحدد عمق البؤرة إذا ما أخذنا بعين الاعتبار الأمور التالية:

إذا ما كانت (V) القيمة الأساسية لسرعة الأمواج (P) و (S) زمن وصولها من البؤرة الباطنية إلى المحطة الزلزالية و (Δ) المسافة من البؤرة السطحية إلى المحطة في هذه الحالة تطبق العلاقة التالية:

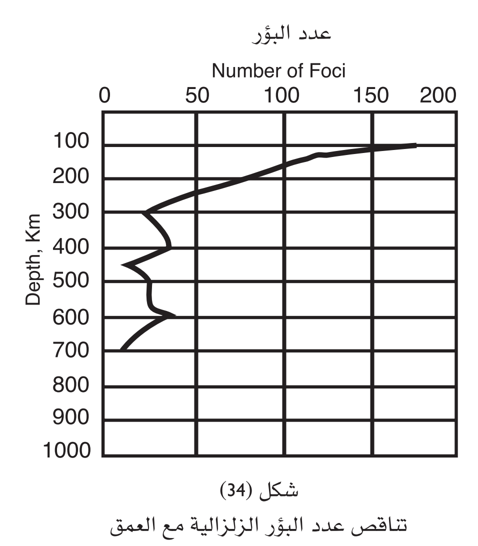
$$H = \sqrt{(tVP)^2 - \Delta^2}$$

هنالك من حاول تقدير عمق البؤرة اعتماداً على الشقوق التي خلفتها الزلازل في جدران المنازل وعلى الزوايا التي شكلتها بالنسبة لسطح الأرض. فإذا ما مدت هذه الشقوق فإنها ستلتقي في منطقة ما وعلى عمق معين. وهنا تتمركز البؤرة الباطنية. وهكذا نشاهد أن التقديرات لم تصل بعد إلى مرحلة الدقة المطلوبة. ولكن يمكن القول إن أكثرها دقة تلك التي تعتمد على معطيات محطات عديدة موثوقة. أما التي تعتمد على العلاقات الرياضية فحظها من الدقة أقل. فمثلاً نجد بالنسبة لزلزال عشقباد السابق الذكر أن التقديرات مختلفة. فبعضها أعطى الرقم 12كم والآخر 15 والثالث 25كم. ويجب أن نشير إلى أن البؤر قد تكون عميقة تزيد على (100)كم وفي حالات قليلة قد تنخفض إلى عمق (600ـ 800)كم. ويرينا الجدول التالي عدد الزلازل ومقدار عمقها والتي جاء بها العالمان غوتينبرغ وريختر عام 1941 للفترة (1906 ـ 1941).

العمق بالكم	100	150	200	250	300	350	-
عدد الزلازل	178	109	82	46	23	32	-
العمق بالكم	400	450	500	550	600	650	700
العدد	36	13	23	25	39	19	7

ونلاحظ من الجدول تناقص عدد الهزات الأرضية[*8] مع تزايد عمق البؤر الباطنية. والشكل التالي يعبر عن ذلك (شكل34).

(*8) غورباتشيف، المصدر السابق.



شكل (34)
تناقص عدد البؤر الزلزالية مع العمق

زلازل كبيرة وأخرى صغيرة:

تتسم البؤرة الزلزالية بأنها ذات أبعاد متباينة كثيراً. بينما أكثر الظواهر الطبيعية ذات مقاسات محدودة. فالفارق بين قطري أكبر قطرة مطر وأصغرها بسيط جداً. كما أن العاصفة الرعدية لايمكن أن تحصر في عدة مئات من الأمتار المربعة، ولكنها في نفس الوقت لايمكنها في لحظة أن تغطي عشرات الآلاف من الكيلومترات المربعة. أما بالنسبة للزلازل فالأمر مختلف تماماً. وكما نعلم تتراوح أبعاد الشقوق في القشرة الأرضية ما بين بضع ملليمترات وعشرات الكيلومترات امتداداً أفقياً وباطنياً، ويوضح لنا الجدول التالي حقيقة هذا الواقع.

نرى أن طول البؤرة قد لايتجاوز (0,01 من الكم بينما يزيد عن 1000كم ي التشيلي. وأصغر شق نتصوره في فلزات المعادن 10-25سم، بينما أكبر شق نظري يصل إلى 410كم وهو كفيل بشق الأرض إلى نصفين والنسبة بينهما 1×10^{29}. وأكبر شق عرفته الأرض نتيجة لزلزلة لايزيد امتداده على 1/1000 من قطر الأرض.

ولو تصورنا الأرض تفاحة عملاقة لرسم أعظم زلزال أرضي شقاً طوله 10مم وعمقه 5,0مم الأمر الذي لايهدد تماسك الأرض.

مقارنة بين سمات الزلازل القوية والضعيفة

معايير الزلازل	زلازل ضعيفة لا تكاد ترصدها أجهزة الرصد الزلزالية	زلازل عادية القوة	زلازل مدمرة (زلزال التشيلي 1960)	العلاقة بين أضعف الزلازل (مقارنة) بأشدها
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
امتداد البؤرة الزلزالية كم	0,01	3	1000	$1/10^{5}$
مساحة الشق الزلزالي كم2	10^{-5}	300	10^{5}	$1/10^{10}$
اللحظة الاهتزازية (عزم القوة)	10^{3}	10^{17}	10^{52}	$1/10^{19}$
طول فترة العمليات في البؤرة الزلزالية بالثواني	10^{-3}	10	10^{2}	$1/10^{16}$
طول فترة تردد الهزات في الأرض بالثانية	10^{-1}	10^{3}	10^{5}	$1/10^{61}$
عدد الحوادث في السنة	10^{7}	30	1	$1/10^{7}$
فترة الاهتزاز الموجية الأساسية بالثانية في البؤرة السطحية	10^{-2}	10	50	$1/10^{4}$
سعة الزحزحة في البؤرة السطحية بالسم	6-10	1	10^{3}	$1/10^{9}$
مدى التسارع في البؤرة السطحية س/ثا	-	300	حتى 2000	-
الطاقة الاهتزازية بالجول	10^{2}	10^{15}	10^{18}	$1/10^{16}$

إن الاختلافات الهائلة في قيم الزلازل امتداداً وعمقاً وشدة يوضح بأن هذه الظاهرة قبل كل شيء ليست عملية إنشاء بل عملية هدم وتخريب، لقد بحث العلماء عن وسائل ناجعة لمعرفة قوة التخريب المدمرة هذه. وتوصلوا إلى محاولات موفقة لإعطاء صورة واضحة عن البؤرة الزلزالية.

من المعروف أن شدة الزلازل ترتبط مباشرة بحجم وامتداد البؤرة الباطنية. ولقد تعثر العلماء طويلاً في قياس شدة الزلازل ووضعوا طرقاً معقدة لتحقيق هذا الغرض، ولكن المطلوب هنا البساطة في القياس وذلك بالقدر الذي تسمح به الظروف الطبيعية. ولكي نستطيع أن نميز بين الزلزال القوي المدمر والضعيف غير المؤثر كان لابد من تقدم تقني ومعرفي واسع عن الأرض وطرق دراستها. وفي نهاية القرن الماضي عندما كانت البؤر الزلزالية الباطنية شبه مجهولة، اكتفى العلماء بدراسة وتقدير قوة الزلازل بملاحظة البؤرة السطحية للزلازل. وهكذا ظهرت معايير متنوعة لتحقيق هذا الأمر، فظهرت قياسات سباعية الدرجات(*9) وعشارية واثنا عشرية.

ولكن من المعروف الآن أن دراسة شدة الزلزال وقياسه ودراسة كنه الزلزال وحقيقته ليس بالأمر الواحد. كما أن تقدير شدة أو حقيقة ظاهرة ماليس بالمسألة الهينة.

لقد تطورت الفيزياء الاهتزازية خلال نصف القرن الماضي بشكل ملحوظ. إذ تم نتيجة لذلك دراسة اتجاهات وسرعة الأمواج الاهتزازية في باطن الأرض. وكشفت هذه الاستقصاءات الكثير من أسرار بنية الأرض وبنائها، وذلك اعتماداً على طبيعة حركة الأمواج وتباين سرعاتها وانعكاساتها وأوقات وصولها إلى محطات الرصد. مع ذلك بقيت مشكلة البؤرة الزلزالية العميقة غير واضحة. ولكي نتعرف على امتداد الشق والانشطار الصخري العميق لابد من معرفة منحى (تموج) سطح التربة عند قدوم الأمواج الاهتزازية. وبالطبع لم يهتم في مثل هذه الأحوال بأبعاد البؤرة وحجمها واستطاعتها. وحتى نهاية الأربعينيات من هذا القرن لم تتمكن الفيزياء الاهتزازية من قياس مقدار قوة الزلزال. مع أن فكرة تصنيف الزلازل حسب مقدرتها على التخريب والتأثير في الطبيعة كانت قد ظهرت ولكن هذه الأفكار لم تجد النور والتطبيق حتى عام 1953، وذلك على يد عالم

(*9) أ. أ. نيكونوف. الزلازل، الماضي والمعاصرة والتوقع، موسكو، 1978

فيزياء الأمواج الاهتزازية الأمريكي ريختر (Ch. Richter) وتلميذه اللامع ب. غوتينبيرغ (B. Gottinberg) وتلامذته.

لقد وضع العالمان الأسس الفيزيائية العملية لتحقيق القياسات الجديدة. ولقد عمدا إلى دراسة أعداد كبيرةللتسجيلات الزلزالية في أمريكا ودول أخرى. ورجعا إلى الكثير من النشرات الزلزالية العالمية. ومن ثم خرجوا للعالم بكتاب قيم أحدث ثورة في عالم المعرفة الزلزالية والكتاب اسمه «الاهتزازية الأرضية». نجد في هذا الكتاب دراسة حوالي (4500)هزة أرضية عنيفة وذلك في الفترة الواقعة بين (1902 و 1953). ولقد تم تحديد القيمة الرقمية المعبرة عن شدة الإشعاع البؤري. وبكلمة أخرى تم التعرف على مقدار الزلزال أو (Magnitude) في كل من بؤر الزلازل الكثيرة السابقة. وفيما بعد أخذت المعطيات التطبيقية لما جاء به العلماء تنتشر في كل أنحاء العالم وتستعمل للتعرف على مقدار البؤرة الزلزالية العميقة. ولقد كانت معطيات ريختر وغوتينبيرغ موضوع دراسة جامعية عليا في جامعة لينينغراد[*10] عام 1953 وأثر هذا العمل اعترف بمصداقية ما جاء به العالمان السابقان وبدء بتطبيقه في الاتحاد السوفييتي السابق.

توصل لفيف من العلماء السوفييت والتشيك في عام 1962 إلى وضع مقياس آخر سمي بمقياس موسكو ـ براغ، وهو مقياس انبثق من أفكار ومعطيات ريختر. ويعتبر مقياساً متطوراً ومعتمدا عالمياً وذلك من قبل الجمعية الزلزالية الدولية. والسؤال الآن ماذا نعني بكلمة مقدار أو ماغنيتيود (Magnitude). ولماذا اعتمدت وصلحت هذه التسمية أو الفكرة للتعبير عن ماهية الزلزال؟ كما أنه كيف تم تحديد قيمة هذا المقدار. إنها قيمة أو مقدار شرطي. وطبيعة المقياس لاتختلف عن مثيلاته فهو متدرج الأرقام. الصفر في المقياس تم تحديده مصادفة تقريباً. ولكن المفهوم الفيزيائي للصفر هنا يختلف عن مفهومه الحسابي. فالصفر الزلزالي حسب ريختر أقل شأناً من فكرة الصفر المئوي الحراري (0=Tc) وفي الواقع أن فكرة الصفر الزلزالي حسب مقياس ريختر هو ذلك المقدار من الطاقة الذي يمكن أن يسجله جهاز تسجيل وود ـ أندرسون[*11] (Wood - Andrson x2800)

(*10) بطرسبورغ حالياً

(*11) يو، يوسيفين، الزلازل والكوارث والإنسان، موسكو 1984.

الواقع على بعد (100) كم من البؤرة الزلزالية على شكل نبضات تظهر بالكاد على شريط التسجيل وبعبارة أسهل نرى أن المقدار من قبل أحد والذي يحدث شقاً في مكان البؤرة الزلزالية أبعاده (30-50م) أي بمساحة (1500)م2 ولا تزيد حركة شفتيه على (0,01)مم.

ويعبر عن المقدار حسياً بواسطة حركة التربة في منطقة انتشار الأمواج الاهتزازية الممكن رصدها وتسجيلها في أجهزة الرصد.

وهكذا نرى أن المقدار أو ما يرمز له بحرف (M) قيمة شرطية للتعبير عن الطاقة المتحررة والمعبر عنها بلوغارتم العلاقة أو الارتباط بين سعة الاهتزاز في ا زلزال ما موضوع لدراسة ('A) وسعة الاهتزاز في الزلزال المعياري أي (M = 0) كما هو موضح في العلاقة التالية:

$$M = \text{Log}\ \frac{A'}{A}$$

إذ نرى أن M - مقدار الزلزال.

'A- سعة الاهتزاز في الزلزال المطلوب معرفة مقداره.

A- سعة الاهتزاز في الزلزال ذي المقدار الصفر أي

Log- لوغاريتم العلاقة السابقة

هكذا نجد أنفسنا نتيجة لما سبق أننا قد انتقلنا من قياس سرعة وزمن الأمواج إلى قياس السعة. وعليه، علينا التعامل ليس مع حركية الأمواج الاهتزازية ولكن من حركتها (ديناميك). وهذا يعني أننا نستطيع أن نتكلم عن القوى المؤثرة في مصدر الأمواج الاهتزازية، وبالتالي يمكننا أن نتكلم عن طاقة الأمواج.

إن أحداثيات البؤرة السطحية وعمق البؤرة ومكان توضع الشق أو الصدع، كلها قياسات تحريكية للبؤرة الزلزالية. ولكن المقدار في الواقع قياس حركي لبؤرة الزلزال الاهتزازية.

إن مأثرة ريختر تمثلت بأنه أوجد وحدة قياس قد استخدمها ليس في تقدير مقدار الحركة بحد ذاتها وسعة الاهتزاز وإنما في تحديد القيمة العشرية اللوغارتمية لها.

لقد استعملت الطرق اللوغارتمية في قياسات أخرى كقياس شدة تألق النجوم. وأهمية هذا التطبيق تنطلق من أن الباحث استطاع أن يحصر جميع درجات الزلازل من أدناها قوة إلى أشدها تدميراً في مقياس تراوحت

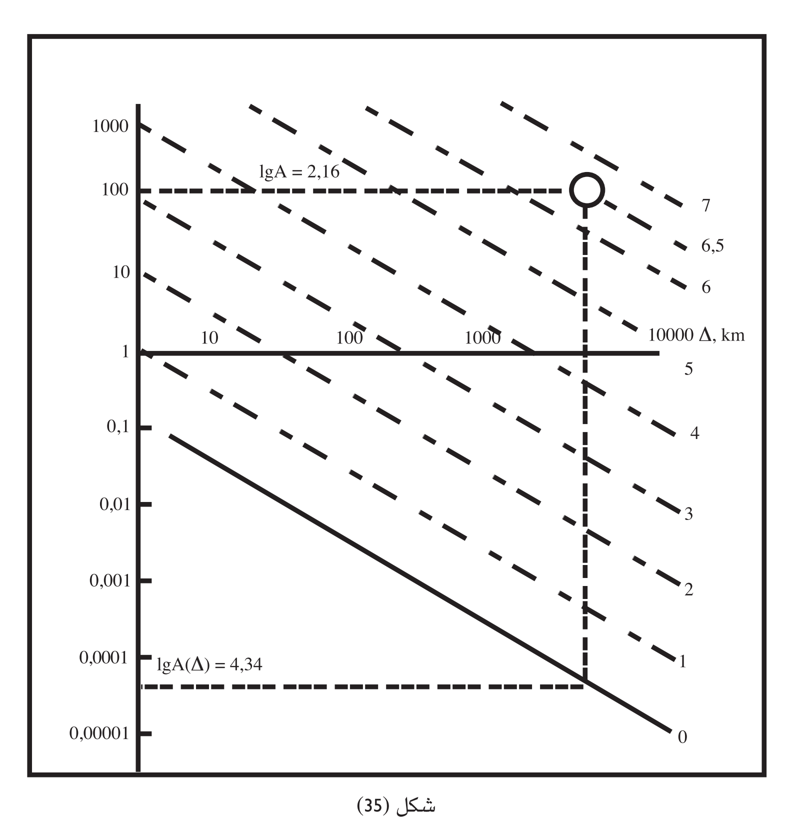
مقاديره بين الصفر و 9-8,5 ماغنيتود. أو (9 - 5,8: 0=M). كما أنه وكما توضح لاحقاً أن قياس تأثير الزلازل وشدة هذا التأثير قيمة لوغاريتيمية كذلك (أي أن الدرجات لاتتناسب طرداً مع التسارع، ولكن مع لوغاريتمها. لتقدير قيمة (M) لابد من قياس مدى التأرجح ومن ثمة تحديد لوغاريتمه[*12]. فلو أن مدى التأرجح الموجي لأي زلزال كان واحداً في أنحاء الأرض لاكتفينا بما ذكرناه آنفاً. ولكن من المعروف أن مدى التأرجح الموجي يتناقص طرداً كلما ابتعدنا عن البؤرة الزلزالية السطحية. لذا يجب أن نراعي في القياس هذه الحقيقة. ولحسن الحظ أن قانون هذا التناقص واحد بالنسبة لكل أشكال الزلازل. ويمكن تحديده تجريبياً. وذلك إذا ما عالجنا معطيات محطات عديدة وبينا تابعاً لوغاريتمياً ("Δ "*LgA) معيارياً. ولقد أوضح كل من ريختر وغوتينبيرغ مثل هذه التوابع لمختلف الأمواج الاهتزازية ولكن تبين أن هذه الأشكال ولوغاريتماتها تختلف حسب نوعية الأمواج (طولية، عرضية، سطحية) وحسب بعدها عن البؤرة الزلزالية. وبالطبع لقد تطورت هذه الأشكال من قبل العديد من العلماء وهذا ما نجده في مقياس الزلازل الموسكوفي البراغمي، الذي يبدو أكثر دقة من مقياس ريختر لأنه أكثر تطوراً وأحدث منه تطبيقاً. حساب المقدار أمر سهل (شكل35). لنفترض أن سعة الأمواج السطحية تعادل (145mkm) ولوغاريتم سعة (LGA) يعادل (2,16 mkm). والفارق بين لحظة قدوم الأمواج (P و S) تعادل مثلاً ثلاث دقائق و 11 ثانية. وانطلاقاً من جداول سرعة حركة الأمواج يمكن تحديد بعد البؤرة السطحية. ويعادل البعد هنا (1930)كم. لذا فإن التابع الكاليبروني (Calibre) المتناسب مع هذا البعد يعادل (4,34) أي (LgA*Δ = 4,34). والآن يمكن اعتماداً على ما ذكرناه حساب قيمة مقدار (M) الزلزال استناداً على العلاقة التالية البسيطة:

(مقدار) $M = LgA + LgA^* (\Delta) =$

$2,16 + 4,34 = 6,5$

أي إن مقدار الزلزال (M = 6,5)

(*12) اللوغاريتم كلمة من مقطعين (logos) علاقة و (arithmos) عدد. فهو مؤشر يدل على درجة معينة رياضية أو فيزيائية. فمثلاً (Log 100=2) وذلك إذا ما اتخذنا الرقم عشرة أساسا لوغاريتميا 2(10)



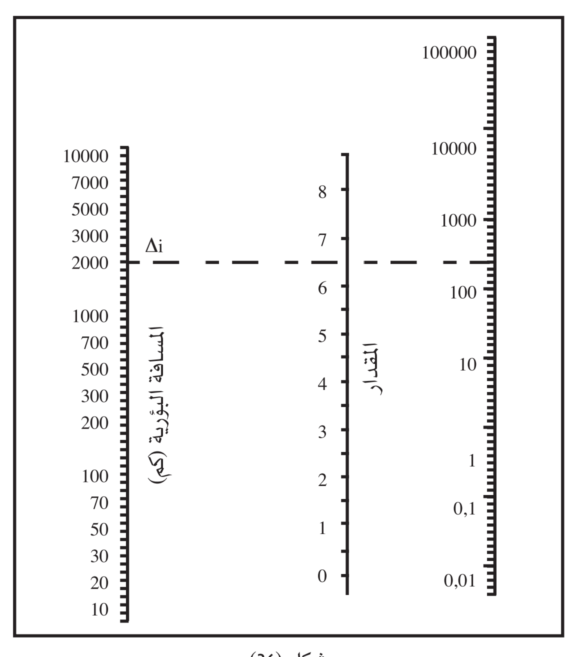
شكل (35)

مبدأ تحديد المقدار (M) في محطات الرصد الزلزلية

Δ- المسافة حتى البؤرة.

Lg- لوغاريتم A (المدى)

يمكننا قياس مدى كل أنواع الأمواج الاهتزازية، وبثقة يمكن تحديد على شريط التسجيل (Seismogrmus) الأمواج) (P و S). كما نستطيع تحديد البعد البؤري الزلزالي. وبعد ذلك واعتماداً على الجداول المتخصصة وعلى قيم التابع الكاليبروني، يمكننا أن نقيس قيم (M) اعتماداً على معطيات محطة واحدة. وسهولة قياس (M) هي التي أعطت لفكرة المقدار الانتشار العلمي والتطبيقي الواسع. أما إذا لم يمكن قياس قيم المقدار (M) بالطريقةالسابقة، فإنه يمكننا أن نحدد قيمة (M) مستعملين الشكل المبسط التالي وهو ما يعرف باسم نوموغرام (Nomogramm) (شكل 36).



شكل (36)

نوموغرام (شكل) لتحديد قيمة المقدار (M)

A- حركة التربة العظمى Δ- البعد عن البؤرة.

ويتألف الشكل من محور في اليسار عليه تدرجات تمثل البعد البؤري للزلزال . ومن محور أيمن يظهر سعة الأمواج السطحية ويحدد مدى تحرك جزئيات التربة. وأن الوصل بين البعد البؤري في المحور الأيسر مع ما يقابله من سعة الأمواج الاهتزازية السطحية يعطينا قيمة المقدار (M). والممثل هنا بمحور آخر يقع بين المحورين السابقين. فلو كانت المسافة البؤرية (Di= 2000كم) والسعة الموجية (100) لوجدنا أن مقدار (M= 5 , 6) ، وذلك إذا ما وصلنا بين البعد البؤري والسعة الموجية المذكورين.

نلاحظ مما سبق أن فكرة المقادر (M) وسيلة سهلة وموثوقة للتعبير عن شدة الزلازل. إلا أن المقدار (M) قيمة افتراضية وليس لها معنى فيزيائي واضح. لذا فالسؤال الآن هل يمكن أن نقيم علاقة موثوقة بين مقدار الزلزال والطاقة المنطلقة من البؤرة الزلزالية الباطنية. إنه أمر ممكن ولكن علينا أن ننسى أن قياس طاقة الإشعاع الموجي الاهتزازي ليس بهذه السهولة. ولتحقيق ذلك يجب أن نقيس سعة وزمن الحركة الاهتزازية التموجية في نقاط مختلفة البعد عن البؤرة السطحية من خلال محطات رصد متعددة. واستناداً إلى ذلك يمكن أن نقيس كمية الطاقة العابرة من خلال وحدة المساحة في نقاط القياس والمراقبة المختارة.

وهذا يقودنا إلى الوصول إلى ما يعرف بكثافة الطاقة. بعد ذلك يتوجب إجراء استقصاءات صعبة لتحديد ارتباط كثافة الطاقة بالبعد عن البؤرة الزلزالية.

ويرى علماء الأمواج الاهتزازية (الزلازل) حالياً أن قيم الطاقة الإشعاعية موجودة بين هذين التقديرين:

$$LgE\ (j)= 1,5M+5$$

$$LgE\ (j)= 1,8M+4$$

إذ نجد هنا أن :Lg ـ لوغاريتم E

الطاقة الاهتزازية J- جول Joule.

M- مقدار أو Magnitude.

لقد وضع العلاقة الأولى عالم الزلازل ب. غوتينبيرغ والثانية العالم السوفييتي ت.غ. راؤتيان. وبعد التجربة تبين أن العلاقة الأولى هي الأنجع في قياس الزلازل القوية والثانية أفضل للزلازل الضعيفة.

ومن الطريف أن نذكر أن الجول(Joule) يعادل استطاعة واط واحد يستهلك في ثانية واحدة، وبالتالي فإن 3600جول يعادل كيلوواط ساعي واحد. وإذا ما أخذنا كمثال زلزال مدينة طشقند لعام 1966 والذي بلغ مقداره (3 ,5) ولوغاريتم طاقة أمواجه الاهتزازية (13) لرأينا أن الطاقة المنبعثة من البؤرة الزلزالية تعادل $(10)^{13}$ جول أو (8 ,2)مليار كيلو واط ساعي.

يجب أن نبين أن الطاقة الزلزالية تحسب بالايرغ (Ergs) والجول. وأن أيرغ واحد يعادل (1) داين Dyne/سم. والجول يعادل $(10)^{17}$ إيرغ.

كما أنه لحساب الطاقة الزلزالية هنالك طرق مختلفة ومن أبرزها وأقدمها العلاقة التي جاء بها العالم ب.ب. غوليتسين وهي:

$$E = \Pi 2 \ \varphi v(\frac{a}{T})$$

إذ إن E- الطاقة V،- سرعة اندفاع الأمواج ،φ كثافة الطبقات العليا لصخور الفترة الأرضية ،a ـ مدى الزحزحة، T- فترة الدور. تشيعر الأبحاث الزلزالية إلى أن قيم الطاقة المحررة نتيجة لحدوث الهزات الأرضية تتراوح بين $(10)^{10}$ ايرغ (M = L) و $(10)^{26}$ ايرغ أي (M = g). وأن الزلزال الأكبر من 9 صعبة ونادرة الحدوث وذلك لأن مقاومة الصخور لعملية الضغط والشد الزلزالي لاتسمح ببلوغ هذا المقدار. إذ تظهر الشقوق وتتداعى الصخور قبل أن تصل إلى المقدار المذكور.

ولكي تتضح لنا الرؤية، يكفي أن نذكر أن قوة الزلازل المدمرة تزيد بملايين المرات على طاقة القنبلة الذرية المعيارية. ويعتقد أن زلزال آسام (Assam) في الهند والذي حدث عام 1950 لربما بلغ في مقداره (9) درجات بمقياس ريختر. ويمكن القول إنه لم يسجل من 1900 زلزال يزيد على (5 ,8)، إلا أن زلزال لشبونة المدمر الذي حدث عام 1755 قد فاق المقدار السابق، إذ شعرت به نصف مساحة أوروبا. ويعتقد أن مقداره بلغ9درجات.

وهكذا نشاهد أن شدة الزلازل على سطح الأرض تعتمد أساساً على كمية الطاقة المتحررة من البؤرة الزلزالية الباطنية.

يجب أن نشير هنا إلى حقيقة مفادها أن كل زيادة في قيمة المقدار أي (M) قيمتها نصف درجة حسب ريختر تؤدي إلى زيادة في الطاقة المنطلقة

بمقدار عشرة أضعاف. وعليه، فإن الطاقة المحررة في أكثر الزلازل عنفاً أي (M = 8,5) تكبر بحوالي $(10)^{17}$ مرة عن أكثرها ضعفاً أي (M = 1).

هنالك صلة مباشرة بين درجة المقدار (M) وتواتر الهزات الأرضية. فلقد وجد أنه كلما تناقضت قيمة (M) درجة واحدة ازدادت تكرارية الزلازل عشر مرات. وفي الوقت الحالي نجد في الدراسات الزلزالية أن الزلازل تقسم إلى صفوف حسب شدتها وتكراريتها وذلك حسب قيمة المقدار. والصفوف(*13) هي (a,b,c,d,e) كما هو مبين في الجدول التالي:

النماذج الزلزالية	الصفوف	الشدة بالنقط F	المقدار M	الطاقة بالإيرغ	عدد الزلازل في السنة
كارثي	a	11-12	8 وأكثر	10^{25}	1
مدمر جداً	b	9-11	7-7,9	10^{23}	10
مدمر	c	7-9	6-6,9	10^{21}	100
مخرب	d	6-7	5-5,9	10^{19}	1,000
عادي	e	5-6	4-4,9	10^{17}	10,000
ضعيف	-	4-5	3-3,9	10^{15}	100,000

نشاهد من الجدول ارتباطاً بين مقدار الزلزال (M) وشدته (F) ويعبر عن هذا الارتباط بالعلاقة التالية:

$$(M = 1,3+0,6F)$$

كما نجد أن عدد الزلازل يتضاعف عشر مرات كلما نقصت قوة الزلزال درجة واحدة وهذا ما يفسر قلة عدد الهزات الأرضية الكارثية والمدمرة التي تحدث كل سنة، ولعل هذا من حسن حظ البشرية.

وتطلق الزلازل الضعيفة كمية من الطاقة لاتذكر مقارنة بالزلازل القوية. وكما نعلم أن طاقة زلزال مقداره (8,5) تعادل $(10)^{25}$ إيرغ، بينما لاتزيد الطاقة المتحررة من (100و000) زلزال ذات المقدار (3-3,9) عن $(10)^{15}$ ايرغ. أي أقل من طاقة الزلزال الأول بما يعادل 10^{10}. وتقدر كمية الطاقة المنبثقة من الهزات الأرضية سنوياً في القشرة الأرضية بحوالي $(3x10)^{25}$ ايرغ. وكمثال نورد الجدول التالي الذي نبين فيه طاقة بعض الهزات الأرضية المدمرة التي حدثت في هذا العصر.

(*13) ياكوشف (مصدر سابق 1988)

الزلزال	تاريخ الحدوث	الطاقة بالايرغ E
لشبونة (برتغال)	1755	$10x7^{27}$
سان فرانسيسكو	1906	$10x2^{24}$
ساريز (جبال بامير)	1911	$10x4,3^{23}$
لوس أنجلوس	1933	$10x1^{18}$
خايت (طاجيكستان)	1949	$10x5^{24}$
آسام (الهند)	1950	$10x3^{27}$
سيفالونيا (اليونان)	1953	$10x6^{24}$
أورليان فيل (الجزائر)	1954	$10x1^{24}$
أغادير (مراكش)	1960	$10x1^{20}$

بما أن الزلازل تتوزع على سطح الأرض بشكل متباين لذا عمد العلماء لإعطاء صورة عن توزع طاقتها على سطح الأرض عبر الخرائط والرسوم البيانية، ولتحقيق ذلك لابد من استخدام مفهوم القوة الاهتزازية النوعية (شدة) (NM)، والتي تمثل كمية الطاقة الممكن إطلاقها من زلزال ما عبر وحدة الحجم سم^3 أو م^3) خلال فترة زمنية تعادل الدقيقة:

$$Nm=\frac{\sum E1}{Vt1}$$

نجد هنا أن ($\sum$E1) مجموع الطاقة المنطلقة من الزلازل ذات البؤر المحصورة ضمن الحجم (V) والمسجلة خلال فترة زمنية (T) محددة. لقد حسبت قيمة (Nm) في كثير من الأماكن وتم رسم خطوط التسوية للطاقة المحصورة بين 10^{-5} و 10^{-11} جول/سم^3 ثانية. وبما أن قيم الطاقة متباينة بشدة فمن الأفضل استعمال لوغاريتمها أي (K=Log E) بدلاً من قيمها المطلقة. وإذا ما حسبت الطاقة بالجول فإن قيمة (K) في مثل هذه الحالة تعرف بصف الطاقة للزلزال (Energyclass) والتي تتراوح قيمها ما بين الصفر (أضعف الزلازل) و (18) في أقواها. ولقد أشرنا سابقاً إلى وجود الصفوف التالية للزلازل: (a,b,c,d,e) كما هو موضح في جدول سابق. ويجب أن نشير إلى وجود وارتباط بين صف الزلزال (C-class) ومقداره (M) نوضحه كالتالي:

الصف C	16	15	14	13	12	11	10	9
المقدار M	1,3	7,3	4,4	5	6,5	2,6	7	5,7

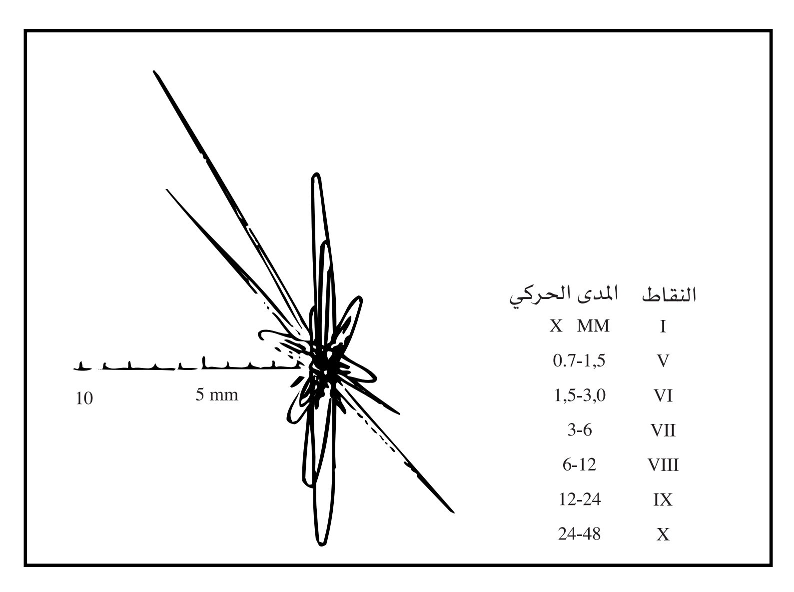
5 المقاييس الزلزالية

ليس من البساطة قياس شدة تأثير الأمواج الاهتزازية. لأنه من أجل تحقيق ذلك لابد من تحديد وتسجيل تأرجح جزئيات التربة والمنشآت البشرية كاملاً أو أجزاء منها. وكما نعلم أن عملية تسجيل الاهتزاز بحد ذاته عملية صعبة.

ولكي نفهم قوانين وأطر التأثير المتبادل بين تأرجح التربة وما تحتها والمباني القائمة فوقها، لايمكن الاعتماد على جهاز تسجيل واحد، ولابد من إقامة أجهزة مختلفة في قاع الأبنية وفي أجزائها المختلفة وطوابقها. وعند مقارنة التسجيلات الزلزالية المختلفة يمكننا أن نحسب بدقة شدة تأثير الأمواج الاهتزازية ومدى ارتباطها بالقاعدة الصخرية التي تقوم عليها. ولكي نرصد تصرفات الأبنية أثناء الهزات الأرضية يجب أن نختار جهازاً (فوكس) له زمن اهتزاز متناسب مع زمن اهتزاز البناء. ومثل هذا الجهاز يعرف باسم (Seismoscope) والذي من خلاله يمكن أن نرسم أنموذجاً لتصرفات الأبنية، كما أن سعة الاهتزاز الموجي في هذا الجهاز تبين شدة الزلازل، وبمقدور هذه الأجهزة رصد التأرجحات الشاقولية والأفقية للتربة. ويكفينا هنا قياس السعة لتأرجح التموجات الاهتزازية في

أسطوانة التسجيل للتعرف على شدة واتجاه الاهتزاز الموجي وتأثيره في الأبنية.

لقد ابتكر س. ف. ميدفيديف مقياساً يمكن استعماله لتحديد شدة الزلزال (i)، وذلك استناداً إلى قيمة حركة المركز الثقلي للسيسموميتر (XO)مقدراً بالمليمتر. شكل (37).



شكل (37)

أنموذج تسجيل جهاز الرصد (SBM) محطة كيشينيف (الاتحاد السوفييتي سابقا).

I,Ball نقطة	Xo,mm	I, Ball نقطة	Xomm
VIII	6-12	V	0 ,7-1 ,5
IX	12-24	VI	1 ,5-3 ,0
X	12-48	VII	3 ,0-6 ,0

لايصلح هذا المقياس لكل الأجهزة الرصدية، لذا هنالك جداول أخرى متشابهة تستعمل في أجهزة أخرى، إلا أن أسسها جميعاً واحدة.

لم تحظ التقديرات القياسية الآلية الانتشار الواسع، لذا عاد العلماء ثانية إلى المقاييس الوصفية القديمة لتقدير شدة الزلازل. ومنها مقياس

ميركالي الإيطالي الذي عدل مراراً. لقد حددت هذه المقاييس شدة الزلازل بعدد من الدرجات أو النقاط (ball) تتراوح بين (10و12) درجة. وكل درجة منها اعتمدت مظاهر معينة تخريبية أو سواها تتناسب مع درجة تأثير وعنف الزلازل. يجب أن نشير إلى أن مقياس الزلازل الياباني قد تضمن سبع درجات فقط.

لم يكن قبل قرن تقريباً أي مقياس أو سلم لقياس شدة الزلازل، ولم تكن لدى العلماء وسائل قياس فعالة وبخاصة بالنسبة للزلازل القوية. وفي الواقع نرى في حالات الزلزال الضعيفة أن تقدير الناس لشدة تأثير الزلازل جيد، ولكن مثل هذه الزلازل لاتحدث للمنازل والمنشآت البنائية المختلفة أي تأثير، لذا لايمكن الاعتماد في تقدير قوتها على رد فعل الناس كمقياس، لأن الناس في مثل هذه الظروف يمتلكهم الهلع وليسوا في وضع يسمح لهم بتقدير شدة الهزات الأرضية. وبالطبع تبقى البيوت والمنشآت هي المرجع الأساسي لمعرفة فعالية الزلازل، لأنها تحتفظ بآثارها السلبية على شكل شقوق أو هدم أو تكسير.

لقد ساعدت الآثار الزلزالية السلبية على الناس والبيوت العلماء على إيجاد مقاييس ومعايير مختلفة تعبر عن شدة وفعالية الزلازل. وذلك خلال فترة زمنية محدودة نسبياً في هذا القرن. ولعب الدور الأساسي في هذا المضمار علماء من اليابان وإيطاليا والولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي وكندا.

لنحاول الآن وبشكل مختصر ومبسط أن نتحدث عن مختلف أنواع المقاييس الزلزالية الأساسية ومدى إمكانية تصنيفها ومقارنة شدتها الاهتزازية.

لقد أشرنا سابقاً إلى مقياس ريختر القائم على حساب الطاقة المتحررة نتيجة لتشكل البؤرة الزلزالية والمقياس الاثني عشري النقاط. وكان القصد من ذلك إظهار الاختلاف والارتباط بين خصائص البؤر طاقياً وانعكس ذلك على سطح وأعماق الأرض.

وهكذا نجد أن المقاييس تتمايز بشكل رئيسي بقوتها. وبكلمة أخرى بمقدرة كل من هذه المقاييس على تقييم الظواهر الناتجة عن تأثير الزلازل، بشكل بسيط أو بشكل دقيق كمياً ورقمياً.

هنالك مقاييس بسيطة بدائية لم تعتمد على التصنيف في تحديد آثار الزلازل وما ترتب عليها من نتائج، بل إنها عبارة عن مقاييس وضعية تسمى الأشياء بذاتها، فهي مقاييس تسمية بالدرجة الأولى. تسمي كل أثر من الآثار الزلزالية على حدة. ولكن هذه المقاييس البدائية قد حلت مكانها مقاييس أكثر دقة مبنية على أسس مدروسة، فظهرت مقاييس الصفوف (Class) الزلزالية. إذ عمدت هذه المقاييس إلى حصر المواضع المدروسة في مجموعات ذات سمات وخصائص مميزة، وبذلك تخلصت المقاييس من ظاهرة الشتات السابقة. إذ نجد هنا أن كل ظاهرة أو شيء ينسب إلى مجموعة مظاهر محددة تتناسب وشدة تأثير الزلازل وتنتمي إلى صف من صفوف المقياس الزلزالي.

وكمثال لو أننا صنفنا المشاركين في مبارة كرة القدم إلى الحارس واللاعبين والحكم. فإننا في هذه الحالة قد أعطينا تصنيفاً مناسباً إذ شمل كل قسم من التصنيف فئة محددة متميزة عن سواها. ولكن لو أخذنا مقياساً آخر مؤلفاً من خمسة صفوف هي: الحارس والدفاع والظهيران والمهاجمون والحكم. فأننا سنتبين هشاشة هذا التصنيف مباشرة، لأنه ليس بالإمكان تحديد مكان كل لاعب وتحديد مهامه. فقد يصبح كل اللاعبين مهاجمين وقد يتحولون إلى مدافعين. كما أن الحارس قد يترك مرماه حيناً ليعود إليه في حين آخر... إلخ.

أما المقاييس الزلزالية القائمة على المراتب (Order) فإنها أكثر دقة. فهنا لايحدد فقط انتماء ظاهرة أو مجموعة مظاهر فإنها أكثر دقة. فهنا لايحدد فقط انتماء ظاهرة أو مجموعة مظاهر لصف ما، بل إلى المراتب أو الدرجات الموجودة بين الصفوف وإلى الحدود التي تفصلها وتميزها عن المراتب الأعلى والأدنى. وكمثال نرى أن المقياس المراتبي البشري يقسم الناس إلى: الأطفال والشباب والكهول والشيوخ. وهكذا نرى أن مقياس المراتب يعتمد على السن. ويشبه كثيراً في مضمونه مقاييس شدة الزلازل. فدرجة الشدة تقابل المرتبة العمرية. وبالطبع أن موضوع اهتمام مقاييس شدة الزلازل المراكز السكنية البشرية ومدى ودرجات تأثرها بالهزات الأرضية. فكل درجة أو مرتبة في هذه المقاييس تمثل درجة التخريب أو التأثير الذي تتركه الزلازل على المراكز البشرية، فزلزال نقاطه (3) أي

شدته من الدرجة أو المرتبة الثالثة يختلف في سماته وتأثيره التخريبي عن زلزال نقاطه (6). فهذا الأخير أكثر تدميراً وأوسع مساحة في تأثيره عن الأول... إلخ. وهكذا نجد أن المقاييس المذكورة توضح لنا مراتب التخريب أوالتأثير الزلزالي عند الانتقال من نقطة إلى أخرى.

إضافة لمقاييس المراتب أو الشدة الزلزالية نجد مقاييس من نوع آخر تعرف بمقياس الفواصل (Interval) أو المدى. فهذا المقياس يعبر في آن واحد عن نموذج العلاقات النوعية بين المظاهر والآثار المترتبة على فعالية وشدة الزلازل وكذلك يعطينا المقياس النوعي للزلزال. من خلال هذا المقياس يمكن أن نقارن كمياً ونوعياً التدرجات المختلفة للمقياس، ولكن لايمكن من خلاله تحديد التقييم المطلق لمظهر من المظاهر.

يحتوي مقياس الفواصل على درجات مختلفة منها الصفر وهو مفهوم اشتراطي هنا. والمثال النموذجي لمقياس الفواصل مقياس الحرارة المعروف. فإذا ما تدرجنا من درجة الحرارة (10) إلى (20)، أو من (25) إلى (35)درجة. فإننا نجد أن الفارق الحراري بين التدريجين يعادل (10)درجات. ولكن في نفس الوقت لايمكن أن نقول إنه عند ارتفاع الحرارة من درجتين إلى عشر أن الحرارة قد تضاعفت تأثيراً بمقدار خمس مرات. وهكذا فإن المقياس المذكور يحدد فقط الفواصل أو التدرج في درجات الحرارة، ولايعبر عن قيمتها المطلقة. ولكن مايميز المقياس أن كل مراحل انتقاله (فواصله) واحدة. وعليه يمكن للمقياس أن يعبر عن التبدلات ما بين التدرجات أو الفواصل الأساسية. فلو كان مدى الفواصل (5) درجات كأن نقول (10-15) فإنه بالإمكان أن نحدد التبدلات الكمية والنوعية ما بين هذه الفواصل الأساسية أي : (5- 5,5 - 6 - 6,3 - 7 - 8 - 8,25 ... إلخ). الأمر الذي يعطينا دقة أكبر في المقارنة ويسمح بالتعرف أفضل على شدة ارتفاع وفعالية الحرارة.

أما أعلى مراتب المقاييس فإنها تتمثل في مقياس الارتباط والعلاقات، الذي يمكننا بوساطته أن نقارن بين الظواهر والمواضيع عبر مقاديرها المطلقة. ومثل هذا المقياس يمكن الباحثين من قياس أمور زلزالية حيوية كالطاقة المحررة وكتلة البؤرة وأبعادها... إلخ والصفر في المقياس هذا يعني انعدام المقدار تماماً. ويصلح المقياس لتقدير طاقة الثورة الزلزالية واللحظة الاهتزازية وامتداد البؤرة. ولكن المقياس يفتقر إلى التعبير النوعي

عن الأضرار الناتجة عن الزلزال.

يعتبر مقياس ريختر مقياس فواصل، فالصفر اشتراطي كما أن وحدات المقدار (M) واحدة في تدرجها. ويمكن بالتالي أن نميز بين مختلف البؤر الزلزالية بواسطة قيم المقدار (M).

إن مقاييس شدة الزلازل مراتب كما ذكرنا سابقاً ولكن هل بإمكانها أن تعبر عن فكرة مقياس الفواصل. وأول من أفلح في تحقيق ذلك العالمان الإيطاليان كانكاني وميركالي. فلقد نجح ميركالي في تقسيم كل الطيف الزلزالي (شدة تأثير الزلزال) إلى وحدات أو فواصل متساوية القيمة. ولكل فاصل سمات ومظاهر متناسبة مع درجة شدة الزلزال. أما كانكاني فلقد أبان أن لكل نقطة (ball) في المقياس فاصلة محددة ذات تسارع اهتزازي محدد للتربة والقاعدة الصخرية.

فيما بعد أدخلت تعديلات قيمة وعديدة على ما جاء به كل من هذين العالمين. ومن أبرز العلماء الذين أجروا مثل هذا التعديل العالم أ. زيبرغ والعالمان وودوم ونيومين. والأخيران أوجدا مقياس ميركالي المعدل المعروف برمز (M.M). وسنتعرف عليه لاحقاً. لقد ساهم كذلك علماء سوفييت مثل س.ف. ميدفيديف والمان (ف ف. شبونهوير) وتشيك (ف.كارنبك). في إجراء التعديلات على مقياس ميركالي. وجاء هؤلاء الثلاثة بمقياس جديد معدل هو (Msk-64) والأحرف تشير إلى أسمائهم. ولكن عدل المقياس هذا فيما بعد على أيدي علماء أمثال نازاروف وشيبالين وشوميلا. وتم هذا الأمر في سنة 1973 ويعتمد الآن في دول الاتحاد السوفييتي السابق ودول أخرى كالدول الاشتراكية سابقاً.

وسنستعرض الآن مقياس ميركالي(*) المعدل:

(*) Ward (المصدر السابق)

مقياس ميركالي المختصر (مقياس شدة الزلزال)

وسطي قيمة السرعة	شدة الزلزال ووصفه	وسطي التسارع الأقصى
	أولاً ـ لا يشعر بالزلزال إلا بعض الناس وفي حالات خاصة (١ـ مقياس روسي ـ فوريل)	-
	ثانياً ـ يشعر به القليل في حالة الراحة وبخاصة في الطوابق العليا من البناء. تهتز بعض الأشياء المعلقة كالثريات العادية. (2ـ مقياس روسي ـ فوري)	-
	ثالثاً: يشعر به بوضوح في البيوت وبخاصة في الطوابق العلوية ولكن أكثر الناس لايدركون أنه زلزال ويمكن للسيارات الواقفة أن تهتز برفق. ويشبه الاهتزاز الذي تحدثه مرور شاحنة (ثالثاً ـ مقياس ـ روسي ـ فوري).	
2-1	رابعاً: يشعر به خلال النهار كثير من الناس في داخل البيوت والقليل في الخارج. وفي الليل قد يوقظ البعض، وتهتز الصحون والأبواب والنوافذ. وتحدث جدران الخشب صريراً. وكأن البناء قد صدم بشاحنة مسرعة. وتهتز بعض السيارات بوضوح. (رابعاً ـ حتى خامساً ـ حسب روسي فوريل).	
5-2	خامساً ـ يشعر به الجميع تقريباً ويوقظ الكثيرين في الليل وتتكسر بعض الصحون والنوافذ ويتشقق الدهان في بعض الأماكن وتنقلب الأشياء ضعيفة الارتكاز (مشربيات). تضطرب الأشجار والأشياء الطويلة، ويمكن للساعات النواسية التوقف. (رابعاً ـ خامساً ـ حسب روسي ـ فوريل).	
8-5	سادساً ـ الكل يشعر به وبعضهم يهرب من المنزل ويتزحزح بعض الأثاث الثقيل من مكانه وتحدث حالات سقوط للأشياء الخفيفة وأضرار في المداخن والمآذن والأبراج. (سادساً ـ سابعاً ـ حسب روسي، فوريل)	

12-8	سابعاً ـ يهرب جميع الناس خارج البيوت. أضرار بسيطة في المباني المتينة والجيدة التصميم. وتتزايد فعالية الأضرار مع رداءة البناء بناء وتصميماً. وتهدم بعض الأبراج والمداخن والمآذن ويشعر به الناس في السيارات. (ثامناً حسب روسي ـ وفوريل).	
30-20	ثامناً ـ الأضرار بسيطة في المنشآت الخاصة المقاومة للزلازل، ولكنها أشد في الأبنية العادية. هنالك انهدامات وتساقط بيوت ومداخن وأعمدة وجدران. ينقلب أثاث البيوت الثقيل ويتبدل مستوى ماء الآباء وتتجعد الصخور الرملية الغضارية. يضطرب سائق السيارات. (ثامناً ـ تاسعاً ـ حسب روسي ـ فوريل).	
55-45	تاسعاً ـ الأضرار كبيرة حتى في المنشآت ذات التصميم الخاص. انهدامات في الأبنية الجيدة. زحزحة في قواعد البيوت، تتكسر الأقنية الباطنية وتتشقق الأرض بوضوح. (تاسعاً ـ حسب روسي ـ فوريل).	
أكبر من 60	عاشراً ـ تخرب الأبنية الخشبية الجيدة البناء وكذلك البيوت الحجرية وبعضها ينهار تماماً. تتشقق الأرض بشدة وتتلوى السكك الحديدية. تظهر الانزلاقات الصخرية السفحية والمصاطب النهرية. كما تتأثر الأحواض المائية بشدة. (عاشراً ـ حسب روسي ـ فوريل).	
-	حادي عشر ـ يبقى القليل من البيوت المتينة المقاومة قائماً وتتخرب الجسور وتظهر شقوق واسعة في الأرض كما تتخرب الأقنية الباطنية تماماً وتتثنى السكك الحديدية بشدة. وتظهر انهدامات وانهيارات مخربة على نطاق واسع. ثاني عشر ـ الخراب والدمار الشامل وتتطاير الأشياء في الهواء، التموجات تطغى على سطح الأرض.	

المقياس MSK-64

إنه مقياس وضعه علماء من الاتحاد السوفييتي وتشيكوسلوفاكيا وألمانيا

الشرقية سابقاً. ولقد أشرنا إليهم منذ قليل، إنه كالتصنيف الأمريكي السابق تطوير موفق لمقياس الشدة الميركالي. ولقد أخذ المقياس هذا صيغته النهائية في عام 1973 بعد الاستفادة من دراسة لمجموعة كبيرة من الزلازل، ويرمز له (MSK-64). وتعني الأحرف اللاتينية أسماء واضعيه و (64) هو العام الذي تم اعتماده 1964.

وتعرض المقياس لاحقاً لتحسينات متتالية من قبل علماء كبار ويتضمن المقياس اثني عشر درجة كالمقياس الأمريكي. ويأخذ الشكل التالي:

أولا-زلزال غير محسوس

شدته دون مستوى تحسس الإنسان به ولاتسجل رجفة التربة سوى آلات الرصد الدقيقة.

ثانيا-يحس به بالكاد

يشعر به النزر اليسير من الناس الجالسين باسترخاء أو المضطجعين داخل غرفهم، خاصة في الطوابق العليا من الأبنية.

ثالثا-زلزال هين

يحس به كثير من الناس داخل بيوتهم ولايشعر به في العراء إلا في ظروف طبيعية مناسبة وتشبه الهزة، الهزة التي يحدثها مرور شاحنة صغيرة. وتتأرجح بالكاد الأشياء المعلقة في الطوابق الدنيا من الأبنية ولكنها أكثر وضوحاً في الطوابق الأعلى.

رابعا-زلزلة واضحة

يشعر به أكثر من الناس داخل الأبنية ويحس به بعضهم في الخارج ويوقظ القليل من نومهم ولكن الخوف لايعتري الناس. وتشبه آثارها آثار سيارة شاحنة محملة جيداً تمر قرب بيت من البيوت فتهز الأبواب والنوافذ وصفائح الطعام ويسمع صرير مفاصل الأبنية الخشبية وتهتز قطع الأثاث المنزلية وتتموج السوائل في الأواني الواسعة وتهتز بلطف بعض الأشياء المعلقة. وتهتز قليلاً السيارات الواقفة في الشارع.

خامسا- التنبيه

يشعر بالهزة كل من في داخل المنازل وكذلك كثير ممن هم في الخارج ويهرع بعض الحيوانات ويهتز البناء كاملاً وتتأرجح الأشياء المعلقة بشدة وتتزحزح الصور واللوحات عن أماكنها وفي حالات نادرة تتوقف ساعات النواس عن الحركة. كما قد تميل وتنقلب الأشياء السيئة الارتكاز، وترتطم بشدة الأبواب والنوافذ غير المغلقة وقد تغلق من جديد وتتطاير السوائل من الأواني. وتشبه الهزة الحركة الناجمة عن سقوط جسم ثقيل داخل المنزل تتضرر بعض الأبنية من نموذج (A) وقد يتغير صبيب بعض الينابيع.

سادسا- الجزع:

يحس معظم الناس بالهزة داخل البيوت وخارجها ويهرب أكثرهم إلى الشوارع، كما يفقد بعضهم توازنه وتهرب الحيوانات المنزلية وسواها. وقد تتكسر بعض الأواني البللورية والفخارية وتتساقط الكتب وقد يتحرك الأثاث المنزلي الثقيل وتسمع أصوات الأجراس الصغيرة في الكنائس.

أضرار واضحة في بعض البيوت من الدرجة (B) ولكنها أكبر وأوسع في النموذج (A). وقد تظهر انزلاقات ترابية وتشققات أرضية بعرض سم ويتبدل ويتغير صبيب ومستوى المياه في الآبار.

سابعا- تضرر المباني:

أ- يجزع أكثر الناس ويهرب خارجاً وقليل منهم من يستطيع الوقوف على قدميه، تقرع أكثر أجراس الكنائس ويشعر سائقو السيارات بالهزة.

ب- الأضرار من الدرجة الثانية في كثير من بيوت النموذج (B) وتلحق ببعضها أضرار من الدرجة الثالثة. أما بالنسبة للنموذج (A) فالأضرار من الدرجة الثالثة والرابعة أحياناً. قد تنحرف السكك الحديدية عن خط سيرها الأساسي في المنحدرات، وتظهر الشقوق في الطرق وتتخرب عقد الاتصال في الأنابيب الصحية وتظهر التشققات في الحواجز الحجرية.

جـ- تظهر الأمواج والعكر على سطح الأحواض المائية، ويتغير صبيب ومستوى ماء الآبار، وقد تختفي أو تظهر بعض الينابيع وتنزلق الصخور الهشة عند ضفاف الأنهار أحياناً.

ثامنا-أضرار شديدة في المباني[*1]

أ- خوف وهلع بالغ وسط الناس وحتى بالنسبة لسائقي الآليات. وتتكسر في بعض الأماكن أغصان الأشجار وتتزحزح وتتقلب الأواني المنزلية الثقيلة ويتضرر جزء من المصابيح المعلقة.

ب- أضرار في الكثير من أبنية النموذج (C) من الدرجة الثانية وبعضها من الثالثة والأضرار في النموذج (B) من الدرجة الثالثة غالباً، أما في النموذج (A) فالأضرار أكبر من الدرجتين الرابعة والخامسة. وتتهدم أسيجة الحدائق والحقول وتتزحزح الهياكل والتماثيل الحجرية وتنقلب شواهد ونصائب القبور وتتكسر عقد التمديدات الصحية كاملاً.

جـ- انزلاقات بسيطة في الأجزاء المائلة من الطرق. ويصل عمق الشقوق بضعة سنتيمترات وتظهر أحواض مائية جديدة. وقد تظهر المياه في بعض الآبار الجافة. وتغوص في آبار أخرى ويتبدل صبيب ومستوى الماء في الآبار.

تاسعا-أضرار بالغة في كل نماذج البيوت

أ- هلع عام بين الناس، كل محتويات البيوت تتضرر وتتكسر. هلع وسط الحيوانات وهروب وإصدار أصوات خائفة (عواء، مواء، خوار، صهيل .... إلخ).

ب- الأضرار في المباني (C) من الدرجتين الثالثة والرابعة أحياناً. وفي أكثر مباني نموذج (B) من الدرجة الرابعة وأحياناً من الخامسة. وفي النموذج (A) الدمار من الدرجة الخامسة تنقلب الأعمدة والتماثيل وتتضرر بشدة الأحواض المائية الاصطناعية. انكسار وانفجار أجزاء من الأنابيب المدفونة وتتشوه السكك الحديدية أحياناً، وتضرر واضح في الطرق.

جـ- قد تظهر السيول في السهول وتجرف معها الصخور الهشة الحصوية والرملية والطينية. ويصل عرض الشقوق في الأرض إلى عشر سم وأكثر من ذلك في ضفاف الأنهار، وتكثر في الأرض الشقوق الصغيرة. تتدحرج الصخور والجلاميد من علٍ وتكثر عمليات انزلاق التربة وما تحتها وتظهر على سطح الماء تموجات كبيرة.

(*1) ف.أ. أولوفوف، انتباه زلازل، طشقند 1971.

عاشرا- هدم كامل للمباني:

أ- في أغلب المباني من النموذج C الأضرار من الدرجتين الرابعة والخامسة أحياناً. وفي النموذج (B) من الخامسة غالباً وفي أكثر المباني من نموذج (A) الأضرار من الدرجة الخامسة. الأضرار تمثل خطورة حقيقية بالنسبة للسدود وأحواض التخزين المائية وسواها. وأضرار واضحة في الجسور. انجراف وتشويه في خطوط السكك الحديدية والأنابيب تتعرض للتخريب. وتظهر التموجات في الطرق المعبدة.

ب- عرض الشقوق في الأرض بضعة سنتيمترات وقد يصل إلى المتر في حالات خاصة. وتظهر الانكسارات الطولية موازية لمجاري الأنهار والأودية وتنهال المجروفات الصخرية من فوق السفوح الشديدة الانحدار. وقد تحدث انهيارات كبيرة في سفوح بعض الأنهار والبحار. وتتحرك قرب الشواطىء الكتل الرملية والطينية وقد تظهر بعض البحيرات الجديدة.

حادي عشر- الكارثة:

أ- أضرار جسيمة حتى في الأبنية الجيدة الإنشاء، وكذلك في الجسور والسدود والسكك الحديدية. تتحطم الأقنية المدفونة وتنجرف الطرق الحديدية وسواها.

ب- تشوه كبير في التربة على شكل تشققات كبيرة وتموجات رأسية وأفقية. تظهر الكثير من الانهيارات الجبلية ولتحديد شدة أو نقاط الزلزال نحتاج إلى وسائل معينة إضافية.

ثاني عشر- تبدل المظهر التضاريسي

أ-جميع البيوت والمنشآت تتخرب سواء كانت على أو تحت سطح الأرض.

ب- يتبدل مظهر سطح الأرض جذرياً وتظهر الشقوق بشدة مع زحزحة وحركة أفقية ورأسية كبيرة للكتل الصخرية. تهدم وتنهار سفوح الأنهار والبحار بشدة، وتظهر البحيرات وتتكون الشلالات وتتبدل مجاري الأنهار وقد تتصل البحار، بعضها البعض عبر المضائق أو تغزو البحار أماكن انهدامية جديدة، وليس من السهل في مثل هذه الحالات قياس شدة الزلازل ويحتاج الأمر إلى وسائل متطورة ودقيقة.

وفي الختام نورد نماذج البناء المختلفة حسب درجة تضررها بالزلازل من خلال الجدول التالي:

شدة الزلازل بالنقاط	نماذج الأبنية		
	(A)	(B)	(C)
خامساً	بعضها1	-	-
سادساً	بعضها2 الكثير1	بعضها1	-
سابعاً	بعضها4 الكثير3	بعضها3 الكثير2	بعضها2 الكثير1
ثامناً	بعضها5 الكثير4	بعضها4 الكثير3	بعضها3 الكثير2
تاسعاً	أكثرها5	بعضها5 الكثير4	بعضها4 الكثير3
عاشراً	-	الكثير5	بعضها5 الأكثر4

نلاحظ من الجدول أن كل المباني تتهدم بعد أن تتجاوز شدة الزلزال العشر (X) نقاط أما الأبنية الضعيفة فتزول قبل ذلك وهذا ما يفسر التخريب الهائل في الأحياء القديمة في المدن خاصة البيوت الطينية والحجرية البسيطة.

الأرقام (5.1) تمثل تزايد درجات التضرر بالهزات، ففي الدرجة (5) تهدم كل المباني.

(A) (B) (C) نماذج الأبنية حسب قوتها ومتانتها وطبيعة تصميمها. هل هي معدة لتحمل الهزات الأرضية أم لا. فأضعفها (A) الأبنية الطينية البسيطة والخشبية والحشائشية، ثم تليها (B) وهي بيوت مؤلفة من حجارة قليلة التماسك (ملاطة طينية وأسمنتية ضعيفة) ومن اللبن الطيني. ثم أقواها (C) وهي الأبنية الأسمنتية المسلحة بالحديد وذات القواعد الاسمنتية المسلحة السميكة والقوية.

الكلمات: بعض نسبة التضرر 10٪

الكثير 50٪

الأكثر 75٪

٦ توقع الزلازل

لا يكفي للتوقع أو التنبؤ الأمثل أن نحدد مكان وزمان وقوة الزلزال قبل فترة مناسبة من وقوعه. ولنفترض أننا أمام مثل هذه الحالة: في مدينة ما (N) يعلن مسؤول محطة رصد الزلازل ما يلي: «غدا ما بين الساعة الثالثة عشرة والسابعة عشرة بتوقيت مدينة دمشق وفي منطقة مدينة (N) تنتظر هزة أرضية قوتها (8) درجات».

ماذا سنفعل فيما لو بلغنا مثل هذه الرسالة الإذاعية؟ هل سنهرب تاركين بيوتنا، وهل نحن مستعدون لمثل هذا الأمر؟ غالبا لسنا كذلك؟ وهذا يعني أن التحذير من الزلزال لم يحقق ما يجب أن يتم إنجازه في مثل هذه الظروف. فالنبوءة إذن ليست على ما يرام.

ولكي تكون النبوءة ناجحة، يجب ألا يعيش الناس في حيرة مع ضياع التصرف المناسب. إذ يجب على كل فرد أن يعرف ما يترتب عليه من مهام وتصرفات وأفعال وما يجب ألا يتخذ من إجراءات وقائية لحماية نفسه والحفاظ على الخدمات المختلفة في المدينة وحفظ مصادر النشاط الإنساني المختلفة. وعليه أن يعمل ليحد من شدة الأضرار التي ستنجم عن الهزة الأرضية، ولتكون في حدودها الدنيا.

وهكذا عندما يكون المجتمع في أماكن وقوع الزلازل قد بلغ هذا المستوى من الاستعدادات فإن التوقعات الزلزالية تؤتي أكلها وثمارها، وإلا فإننا أمام واقع صعب لا تعرف عواقبه.

مثل هذه الاستعدادات متوافرة في البلدان المتقدمة المتضررة من الزلازل كاليابان وكندا والولايات المتحدة الأمريكية وبعض مناطق جنوب وشرق الاتحاد الروسي. ولتحقيق مثل هذه الاستعدادات لابد من وجود تنظيمات اجتماعية وصحية وهندسية متعددة المهام، ولابد من تجهيز نظري وعملي للأفراد، ولابد من وجود إجراءات وقاية وصيانة وأمن معينة للحفاظ على الثروة الاقتصادية والبشرية.

هل يعني ما ذكرناه ورغم الإرشادات المعروفة في حالات الزلازل، أننا بعيدون عن التعرف على زمن وقوع الهزات واتخاذ ما يلزم قبل حلول ساعة الصفر؟

الإجابة ليست بهذه السهولة، ولكن يمكن القول أننا الآن نعرف الكثير عن الزلازل وطبيعتها وعما يجب عمله قبل وأثناء وبعد وقوعها. ولكن المشكلة كيف نطبق معلوماتنا. كما أنه تنقص العالم الوسائط الضرورية لمعرفة ما يحدث ويجري في باطن الأرض. وببساطة لم تصل الإنسانية بعد إلى ما يجب إنجازه في حالة وقوع الهزات الأرضية وبخاصة العنيفة منها. لأن مثل هذه الزلازل تجعل الناس سكارى وما هم بسكارى، ولا يفكر الإنسان إلا بالنجاة والهرب.

في كثير من البلدان وبعد العديد من الكوارث الزلزالية بدأ تكوين منظمات ومؤسسات علمية تهتم بالتنبؤ عن الزلازل. ومن هذه الأقطار اليابان وكندا والولايات المتحدة والصين والاتحاد السوفييتي السابق: وفي الواقع بدأ الاهتمام بهذه المشكلة في الاتحاد السوفييتي في الخمسينيات من هذا القرن. ولقد تم خلال هذه الفترة الحصول على معطيات واسعة عن الأرض سطحا وباطنا وتركيبا.

كما تمت دراسة مناطق زلزالية كثيرة. كما أنه تمت الاستعانة بعلوم وخبرات أخرى كالعلوم الجيولوجية والكيميائية والفيزيائية والجيوفيزيائية والهيدرولوجية والميترولوجية والهندسية. وهكذا كثرت المعطيات عن الأرض. ولكن مع ذلك بقي أمر الضربات الاهتزازية في باطن الأرض صعب الملاحظة

والتتبع وبقيت ظلال الأسرار تحيط بواقع الاهتمامات والحركات المرافقة لها.(*)

لقد عاش خبراء الزلازل الصينيون تجارب مريرة مع الزلازل وإمكان توقع حدوثها. ولقد أعد كثير منهم إعدادا جيدا في الاتحاد السوفييتي. ومن ثمة انتقلوا إلى بلادهم فكونوا إدارة مركزية للزلازل ثم إدارات ومحطات كثيرة في المقاطعات الزلزالية المختلفة. ومن المراكز الثانوية كانت المعلومات تنقل بسرعة وبانتظام إلى المركز لإجراء التحليلات اللازمة وإعطاء التوجيهات اللازمة لمختلف المناطق للتصرف فيما إذا وقعت الزلازل. هذه الخبرات والتجارب قد مكنت علماء الزلازل في الصين من التنبؤ بوقوع العديد من الزلازل مما قلل كثيرا من آثارها التدميرية. وخير مثال على ذلك، هو ما جرى في نهاية عام (1973). لقد تجمعت في أحد مراكز الرصد الزلزالية في الصين معلومات نقلها السكان ومختصون في الجيوفيزياء، وكلها تشير إلى وجود مظاهر طبيعية غير مطمئنة. إذ لوحظ تبدل في مستوى المياه الباطنية في الآبار وارتفاع وانخفاض في خط الشاطىء في شبه جزيرة لياودون، وظهرت تذبذبات واضحة في الساحة المغناطيسية. وهكذا تم في مطلع عام 1974 تحديد المناطق المرشحة لوقوع الهزات الأرضية. ولقد شملت هذه المناطق مدنا مهمة مثل انيكوي وهايجين ولياويان. وفي 1-2 من شهر فبراير 1974، لاحظ مراقبو أجهزة الرصد الزلزالية مرة ثانية وجود الكثير من الهزات الأرضية الخفيفة. وقرروا أنها طلائع لهزات أرضية أقوى مدمرة قريبة الحدوث. وبالفعل في منتصف اليوم الرابع من شباط لوحظ اندفاع أعداد كبيرة من الحيات من باطن الأرض إلى الحقول الباردة المغطاة بالثلوج ونتيجة لذلك أعلن الاستعداد العام في المنطقة وأمر الناس بهجر بيوتهم وأطلق سراح الحيوانات الأهلية، وأبعدت السيارات عن مواقع تجمعها ووضع العجزة والمرضى في أماكن مقاومة ومحمية مهيأة لمثل هذه الظروف. ومرت بضع ساعات ثقيلة وعصيبة، ينتظر فيها الناس المجهول بخوف، وفي الساعة السابعة و36 دقيقة مساء، انطلق الزلزال من عقاله،وكان زلزالا قويا بلغ مقداره (7,3). وبلغت شدته في منطقة البؤرة السطحية عشر نقاط. وهدم في أكثر الأماكن تضررا (90٪) من البيوت والمنازل

(*) سيبالين، المصدر السابق.

وتضررت السدود والجسور والطرق والأقنية. إلا أن الوفيات كانت محدودة نسبيا ولم تزد على بضع مئات. ولولا توقع الزلازل لبلغ القتلى الآلاف، بسبب كثافة السكان العالية.

إنها تجربة ناجحة لعلماء الصين وللعالم في التعرف على الموعد التقريبي لوقوع الزلزال، ولتفادي خسائر كبيرة. ولكن علينا ألا نتفاءل كثيرا وألا نسبق الأمور.

في مايو من عام 1975 وفي المؤتمر العالمي للزلزال والذي عقد بإشراف اليونسكو. أفاض علماء الزلازل من الصين بالحديث عن تجربتهم السابقة الموفقة، وعن كيفية تفاديهم خسائر فادحة. ولكن لم يمض زمن طويل حتى خابت الآمال من جديد. ففي (26) يوليو من عام 1976 حدث زلزال قوي بلغ مقداره 7 درجات بمقياس ريختر وتبعد بؤرته الصحية بمقدار 150 كم شرق العاصمة بكين. لقد تسبب الزلزال في حدوث تخريب كبير وحوادث موت كثيرة. وأشارت المعطيات المختلفة في أجهزة الرصد إلى زوال خطر الزلزال، واقتنع علماء الصين بذلك. ولكن وضح فيما بعد أن الهزة الأولى لم تكن سوى مقدمة لهزة أعنف لم تكتشف. ففي 27 من الشهر نفسه أي بعد يوم واحد فقط من الزلزال تقريبا. انطلقت هزة مباغتة أساسية، بلغ مقدارها 7,9 درجات وكانت شدتها في بؤرة الزلزال (10-11) نقطة. علما بأن الأوامر قد صدرت قبيل وقوع الزلزال إلى العمال بالبقاء في مصانعهم ومناجمهم وأن يعود الناس إلى بيوتهم. وهكذا كانت النتيجة كارثة حقيقية. فلقد بلغ عدد الضحايا طبقا لمصادر الحكومة الصينية (240) ألف نسمة. إلا أن وكالات الأنباء قدرت العدد بحوالي 600-650 ألف إنسان. أما الجرحى فليس أقل من 780 ألف فرد. والسؤال: لماذا لم يستطع العلماء التعرف على موعد وقوع الزلزال؟ ولقد عرف السبب بعد بضع سنين. لقد كانت مؤشرات الزلزال موجودة، ولكنها ضاعت في الطبقات السطحية من القشرة الأرضية، وذلك بتشويش من ضجيج مصانع الصناعات الثقيلة المتمركزة في منطقة الزلزال ومن هدير الآلات التي تستخرج المواد الخام من المناجم.

وهكذا شوهت لوحة التنبؤ الزلزالية لدى القائمين على رصد الزلازل، ولم يثق هؤلاء بالمعلومات التي بلغتهم ولم يعلنوا النفير في المنطقة، كما أن آراء المختصين قد تضاربت حول هذه المعلومات. فكانت النتيجة أن دفن كل

هؤلاء تحت الأنقاض وتحققت الكارثة المريعة.

بعد هذه الكارثة قل حماس العلماء. ولكن لم يتوقفوا عن متابعة أبحاثهم في البحث عن أحسن السبل لتوقع حدوث الزلازل وتفادي أضرارها. لقد تمكن علماء الزلازل في المكسيك من تحديد مكان وزمان الزلازل ثلاث مرات، كما وفق علماء الصين في ذلك مرات عديدة، بعد الزلزال المدمر الآنف الذكر. ومع ذلك كانت الإخفاقات في نفس الوقت غير قليلة.

وفي الاتحاد السوفييتي السابق توقع العلماء حدوث زلزال في وادي فرغانة، ولكنه لم يحدث هناك، بل على بعد (400) كم من المكان المتوقع وذلك في جبال آلاي. وحدثت مثل هذه الخطيئة في تركمانستان وفي دوشانبيه لم تقع الهزة المتوقعة. وكذلك في اليمن، إذ تنبأ بعض المختصين بحدوث زلزال قوي بعد زلزال ذمار (1983)، مما دفع الكثيرين إلى الخروج من بيوتهم في العاصمة صنعاء. ولكن لم يحدث أي زلزال ذو معنى، بل سلسلة من الهزات الضعيفة.

في نهاية السبعينيات أطلقت صفارات الإنذار في اليابان، إذ توقع المختصون حدوث زلزال مدمر، فكل الدلائل والمؤشرات أيدت قرب حدوثه في خليج سوروغ، الواقع جنوب غرب العاصمة طوكيو، وتزايدت القرائن والمؤشرات الزلزالية تدريجيا وأصبح وقوع الهزة أمرا محتما. كما أيدت المعطيات الجيوفيزيائية ذلك وظهرت فعلا سلسلة من الهزات الخفيفة، وعليه تشكلت لجنة خاصة للإشراف وإعداد التجهيزات والاستعدادات الضرورية لمواجهة الزلزال. ومرن الناس على مجابهة لحظات الدمار الشامل. ولكن سبتمبر فيما بعد وفي عام 1983 وفي شهر تم الكشف عن الخطأ في التوقع. وفي الحقيقة مرت الأشهر والسنون ولم تحدث الهزة الأرضية. ولم تحدث إلى الآن. أما متى تحدث فعلمها عند الله، وذلك على الرغم من وفرة العلماء وأجهزة الرصد المتطورة كثيرا.

أما في الولايات المتحدة الأمريكية فالوضع ليس بالأحسن، فلقد تنبأ أحد علماء الزلازل في نهاية عام (1980) بحدوث أحد أشد الزلازل عنفا في التاريخ الحاضر، وذلك قرب شواطىء كولومبيا وبيرو والتشيلي في أمريكا الجنوبية، وعليه أخذ الهلع والفزع قلوب الناس كل مأخذ. وتضرر الموسم السياحي أيما ضرر، وامتنع الأجانب عن الاصطياف هناك، ونقل

كثير من أصحاب رؤوس الأموال أنشطتهم التجارية والإدارية والاجتماعية إلى أماكن أخرى. وخسرت هذه الدول مئات الملايين من الدولارات. ولم يحدث أي زلزال، وفي عام 1981 طوي أمر النبوءة تماما وبعد هذه الحادثة اتخذت الجمعية الأمريكية للزلازل قرارا خاصا بمنع أعضائها من التنبؤ بوقوع الزلازل خارج حدود الولايات المتحدة الأمريكية.

يشير كل ما ذكرناه إلى أن مسألة حدوث الهزات الأرضية مسألة ليست بهذه السهولة، فإن صدقت النبوءة مرة سيجافيها الخطر مرات عديدة. وذلك لأن ظروف تكوين الزلازل شديدة التعقيد، وكثير منها تجري في أعماق الأرض السحيقة ويصعب رصدها وتتبعها، كما يصعب تحليلها وإعطاء صورة واضحة عنها لإصدار الإنذار في الوقت المناسب.

مراحل وطرق توقع الزلازل

تحتاج الزلازل القوية لفترة تحضيرية طويلة جدا قد تمتد عشرات، مئات، بل آلاف السنين أحيانا، كما تتطلب عمليات تكوينها مساحة وأبعادا كبيرة قد تشمل مئات وآلاف الكيلومترات المربعة. إن مراقبة وملاحظة مثل هذه العمليات أمر ممكن عبر الطرق السيسمولوجية (الاهتزازية)، وذلك بأن تتم مراقبة تبدل النظام الزلزالي أي مراقبة ظهور منطقة الخمود الاهتزازي، وملاحظة تبدل توتر الصخور باطنيا، وتباين شفافيتها الاهتزازية وكذلك الاهتمام بتصرفات بعض الكتل الصخرية. إذ تتحول من تصرفات مكانية ذاتية (حركة) إلى تصرفات طابع مشترك مع كتل أخرى مجاورة، وتشكل بمجموعها كتلة حركية واحدة. وفي مثل هذه الظروف تعد الأمور لضربة زلزالية وشيكة كبيرة.

إن مراقبة مثل هذه الأمور تعطينا المعلومات الضرورية للتعرف على طبيعة وطريقة تشكل البؤر الزلزالية الكبيرة. ويمكن أن توضح لنا واقع الانشطار الذي سيتحقق عبر فترة قد تكون قصيرة (بضعة شهور) وقد تكون غير ذلك (سنوات). تمثل مثل هذه الإجراءات مرحلة التنبؤ الزلزالي الطويل الأمد. ويعتبر هذا النوع من التوقع هو الأفضل حاليا مقارنة مع الأشكال الأخرى للتوقع والتنبؤ الزلزالي.

أما التوقع المتوسط المدى فواقعه أكثر تعقيدا، وتتراوح مدته بين بضعة

أسابيع وبضعة شهور، وبالإضافة إلى مراقبة تبدلات نظام المظاهر الاهتزازية كما في السابق يجب الاهتمام بمظاهر أخرى كتبدل ميل سطح الأرض وذلك باستعمال أدق القياسات المساحية والليزرية. كما تجب مراقبة مصادر المياه الباطنية والسطحية وفحص مركباتها الكيميائية وخصائصها الفيزيائية، كما تجب ملاحظة آبار النفط والغاز. وفي هذه المرحلة قد يكون من المفيد كذلك ملاحظة تبدل وتطور الإشعاعات الاهتزازية المنطلقة من مناطق البؤر الزلزالية ومراقبة تبدلات سرعة وامتصاص الأمواج اللدنة في أماكن البؤر الزلزالية المستقبلية.

وفي حال تأييد معطيات التوقعات المتوسطة الأمد، التوقعات طويلة الأمد تبدأ مرحلة التوقع القصير الأمد والذي لا تزيد مدته على بضعة أيام. وفي هذه الحالة يهتم بكل المعطيات المتوافرة وبخاصة المعطيات الهيدروكيميائية (كيمياء الماء)، التي تتطور بعد بشكل جيد وذلك فيما يخص الزلازل. وللطرق الكهرومغناطيسية دور رائد في تنفيذ مرحلة التوقع القصيرة الأمد. إذ يمكن بواسطتها مراقبة ورصد ما يجري في باطن الأرض ومراقبة المجالات الكهربية وملاحظة ما يجري في طبقة الإينوسفير (الانشطار) الجوية، فهذه الطبقة تعكس بعض العمليات الجارية في باطن الأرض.

لم تتضح إلى الآن معالم نظرية كهروحرارية حركية عن بؤر الزلزالية، ولكن من المعروف الآن أنه أثناء عملية انشطار الشبكات البلورية للمعادن المؤلفة للصخور في باطن الأرض تلعب القوى الكهرومغناطيسية الدور الأساسي في تحقيق ذلك. ولوحظ أن مستوى فعالية المظاهر الكهرومغناطيسية عالية قبيل الزلازل أو أثناءها. وكثيرا ما تشع نتيجة لما ذكرناه قمم الجبال والمآذن الموجودة فوق البؤر الزلزالية المستقبلية. كما تظهر شذوذات كبيرة في الطبقات الجوية العالية ذات الجزئيات المشحونة كهربائيا.

وهكذا عندما لم يبق لحدوث الزلزال إلا ساعات أو دقائق، فالاهتمام ينصب على الأعمال الوقائية ومراقبة الهزات الطلائعية والمعطيات الكهرومغناطيسية، وكذلك مراقبة تصرف الحيوانات قبيل الهزات الأرضية وبخاصة في الاصطبلات وفي حدائق الحيوانات، والمهم في مثل هذه

اللحظات الاحتفاظ برباطة الجأش والانتظار لحظة فلحظة. ويجب أن تكون فرق الإنقاذ والصيانة والصحة بكل أنواعها جاهزة للعمل. ومع ذلك قد تقع الواقعة وقد لا تقع. ولكن علينا الانتباه والتهيؤ.

والسؤال المهم الآن: إلى أي مدى يمكن تحقيق مراحل التوقع الثلاث؟ وكما رأينا لتحقيق النبوءة الزلزالية لابد من استعدادات واسعة اجتماعية واقتصادية وإدارية وتقنية. إن توافر الاستعدادات التقنية في مرحلة التوقع الطويل الأمد جيد. ففي البلدان المتطورة كاليابان والولايات المتحدة وكندا تعمل مراكز الرصد الأساسية والفرعية بجد وتجمع المعلومات عن كل ما يجري في أعماق الأرض وتنقل هذه المعلومات بوسائل متطورة إلى المراكز المختصة لتدرس بدقة وتحلل ثم يتوصل فيما بعد إلى استنتاجات معينة يبلغ عنها باستمرار، للقيام بالإجراءات الضرورية.

يختلف الأمر قليلا بالنسبة للتوقع المتوسط. فهنا الفترة الزمنية قصيرة وتحسب غالبا بالأسابيع، وليس من السهل نقل المعلومات يوميا ثم دراستها وتحليلها وتحديد ما يجب عمله. لذا يعمد الآن إلى تحسين وسائل نقل المعلومات. ويجب أن نشير إلى أن المعطيات المائية الكيميائية (الهيدروكيمياء) لا يوثق بها في هذه المرحلة. وباختصار إن واقع النبوءة هنا ليس كما يرام وقد يؤدي إلى استنتاجات خاطئة قد يكون لها آثار سلبية جدا.

وبالنسبة للنبوءة القصيرة الأمد، فإن واقعها أشد تعقيدا وأقل نجاحا من المرحلتين الطويلة والمتوسطة. وذلك لأن الوقت قصير جدا ويجب أن ترد المعلومات يوميا وبالساعات، كما يجب أن تصل في الوقت اللازم لكي يتم التوصل إلى استنتاجات وقرارات موفقة. ويعني ما ذكرنا أنه يجب أن تتجمع المعلومات في مراكز الرصد الأساسية بسرعة فائقة ثم تبلغ إلى الفروع. ولكن هل من السهل نقل مثل هذه المعلومات، بالطبع لا، لأن مراكز الرصد الزلزالية مبعثرة بشدة في الغابات وفي الجبال والصحارى...الخ، بل إن نقل المعلومات يصعب كثيرا في بعض الأماكن. ولعله يأتي اليوم الذي تستخدم فيه الأقمار الصناعية في نقل المعلومات رأسا من مراكز الزلزالية إلى المحطات المركزية ثم تبلغ للأقمار الصناعية ومن ثمة إلى مراكز الرصد الفرعية. لم تطبق مثل هذه الوسيلة إلى الآن وهي عملية مكلفة كثيرا وتحتاج إلى تقنيات عالية.

ما العمل عندما تأزف الأزفة ويبقى لموعد الهزة دقائق وليس ساعات. في مثل هذه الحالة لعله من الأفضل استعمال وسائط نقل بسيطة للمعلومات من المراكز الأساسية إلى الفرعية أو العكس. ويجب نقل هذه المعلومات أو ما يستخلص منها حسب إشارات معينة إنذارية متفق عليها. وهذه الإشارات الكهرومغناطيسية أكثر سرعة من سرعة الأمواج الاهتزازية التي تعادل (١٥) كم في الثانية عادة. بينما سرعة الإشارات آنية. وكلما كانت بؤرة الزلزال بعيدة كان هنالك متسع من الوقت. إذ يمكن في خلاله قطع التيار الكهربائي وإغلاق أنابيب وجرار الغاز وإطفاء محركات الطاقة المختلفة والقيام بالعديد من الإجراءات الوقائية الضرورية. ولكن يجب أن نؤكد أن عملية التوقع الزلزالي ليست بسيطة تحل دفعة واحدة. إنها عملية طويلة مستمرة ولن تنتهي. فعلينا الاستعداد دائما والانتظار والعمل الدؤوب لكي نتفادى الخسائر أو نقلل منها كثيرا . فنحن كالفلاح: يفلح ويبذر ...الخ ولكن قد يكون المحصول ممتازا وقد لا يكون البتة. وعليه التوقع الزلزالي أمر صعب المنال لأن ما يجري في أعماق الأرض مبهم غالبا . لذا تبقى ظلال الشك جاثمة على عقول البشرية. متى وكيف وبأي مقدار ستكون الهزة؟... لا نعرف. ولكن علينا أن نفلح ونزرع... والمحصول غير معروف. وهكذا يمكن أن نلخص عددا من وسائل التوقع الزلزالي.

منذ القدم يعلم الناس أن الحيوانات تمتلك وسائل إحساس خاصة تحس بحدوث الزلازل قبل وقوعها. لذا يهتم العلماء في الأقطار الزلزالية بمراقبة تصرفات الحيوانات داخل البيوت أو في الحظائر أو في حدائق الحيوانات. ومن المعروف أن الأبقار والكلاب والقطط يعتريها الاضطراب قبل وقوع الزلازل ببضع ساعات، وأكثر الحيوانات اضطرابا تلك التي تعيش في باطن الأرض كالثعابين والفئران وسواها، إذ إنها تهرب من جحورها خائفة. ويفسر تصرفها هذا بظهور أمواج كهرومغناطيسية قبل الزلزال تستقبلها هذه الحيوانت فتؤثر على جهازها العصبي فتفعل بشدة.

هناك وسائل للتوقع تعتمد على أجهزة الرصد الزلزالية وعلى أجهزة خاصة تراقب التبدلات التي تطرأ على الساحة الكهرومغناطيسية للأرض قبيل الزلزال، وكذلك يعتمد في التوقع على التقاط الأمواج الصوتية المحترمة للأرض، ولتحقيق ذلك يدفن جهاز التقاط الأصوات داخل الأرض بعمق

محدد، ويبلغ عمقه في كاليفورنيا (115)م ضمن بئر مملوءة بالماء، ولكن قد لا يستقبل الجهاز هذه الأمواج كما يجب، وقد لا نحس إلا والكارثة قد وقعت.

هنالك طرق أخرى تعتمد على اختلاف ميل سطح الأرض وسيتم التعرف على ذلك بواسطة أجهزة قياس معينة عالية الحساسية. وتستعمل هذه الطريقة كثيرا في اليابان.

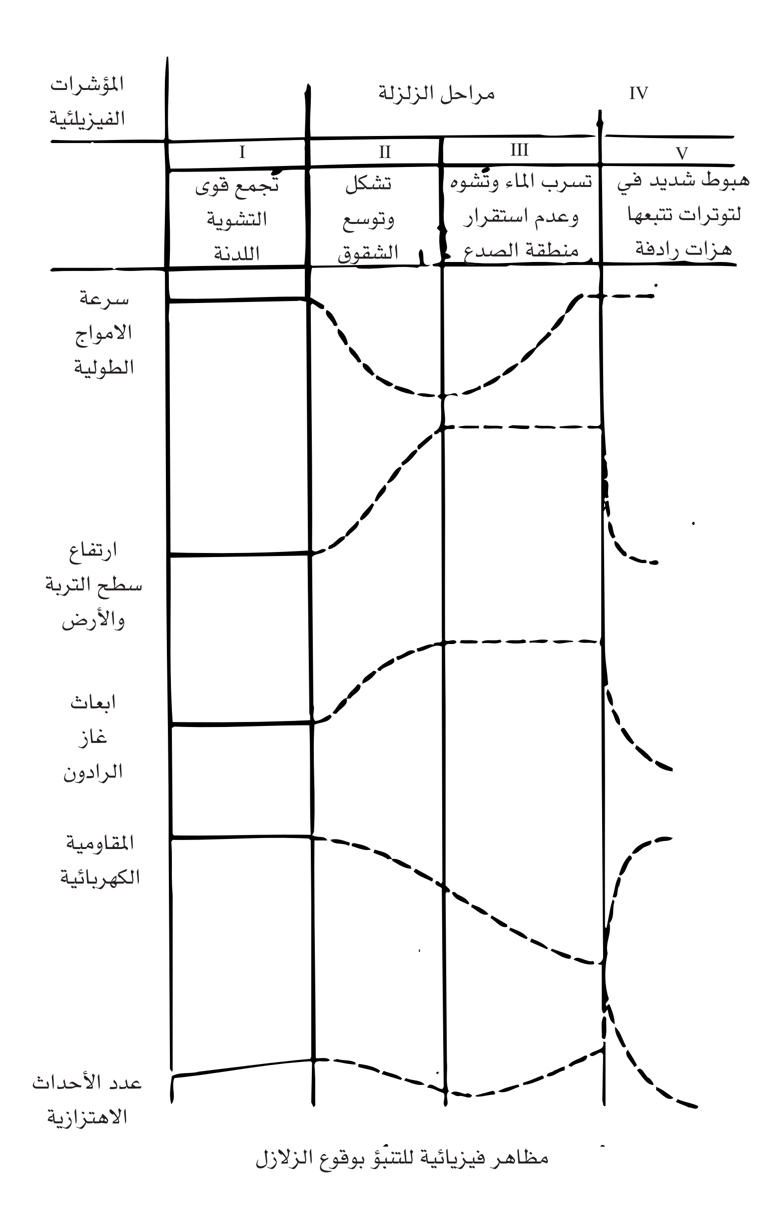
والمهم هنا ملاحظة تقعر سطح الأرض، الذي يسبق الزلزال عادة إذ يلي التقعر حدوث الشق الزلزالي والبؤرة.

يجب أن نشير إلى أن تقعر الأرض قد يتم تحت تأثير تبدل قيم الضغط الجوي،. كما أن هذا المؤشر لا يحدد مكان حدوث الزلزال.

هنالك وسيلة أخرى للتوقع تتمثل في دراسة خاصية لدونة المواد المؤلفة باطن الأرض. وبخاصة المرتبطة بزيادة قوة الضغط التي تسبق الزلزال. هذه الطريقة قليلة الانتشار لصعوبة تطبيقها.

وهكذا نشاهد تعدد وسائل التوقع، ولكن لكل طريقة نواقص كثيرة، مما يقلل من فعاليتها. والبشرية في بحث دائم عن أفضل الوسائل لتوقع الزلازل ولتفادي آثارها التدميرية.

لقد سعى بعض العلماء إلى رصد مظاهر فيزيائية معينة للتنبؤ بوقوع الزلازل ومثلت باللوحة التالية:



مظاهر فيزيائية للتنبُّؤ بوقوع الزلازل

7 مظاهر مرتبطة بالزلازل

إن المظاهر المرتبطة بالهزات الأرضية متنوعة وتعتبر نتاجاً لها. ومن أبرزها تخريب وتشويه الساحتين المغناطيسية والكهربائية. وكثيراً ما ترافق الزلازل مظاهر ضوئية وصوتية إضافة إلى حركات موجية عارمة في البحار والمحيطات. وتؤدي الزلزلة في أغلب الأحيان إلى انهيالات وانزلاقات وانجرافات صخرية، كما تعمل على تغيير المظهر الخارجي لسطح الأرض بل وتؤثر في المياه الباطنية والسطحية. وفي بعض الحالات قد تتسبب في ظهور أو تجدد البراكين. وسنستعرض الآن أبرز هذه المظاهر.

1 - الهزات الطلائعية والرادفة(*)

في كل الظروف الزلزالية تقريباً تلي الهزة القوية الأولى الأساسية، سلسلة من الهزات اللاحقة أو الرافعة(*1) (After - Shock) التي كثيراً ما تكمل المهمة التخريبية التي قامت بها الهزة الأولى الأساسية. وليس من النادر أن تكون بعض الهزات هذه أكثر شدة من الأولى. فمثلاً في زلزال نيومدريد في

(*) أ. أ. نيكوف، حركة القشرة الأرضية الحديثة، موسكو 1979.

(*1) (يوم ترجف الراجفة، تتبعها الرادفة) (النازعات)

أواسط الولايات المتحدة لوحظ أن بعض الهزات الرادفة لم تقل شدة وتحطيماً عن الأولى. وبشكل عام هذه الهزات أضعف ولكنها متكررة كثيراً. وفي أغلب الأحيان تمثل مراكز أو بؤر الهزات الرادفة جيوباً ثانوية تختزن فيها الطاقة التي تتحرر بعد الهزة الأولى الأساسية. ويميز علماء الزلازل ظاهرة مناقضة لما سبق، أي أن الهزة الأساسية الأولى تسبقها هزات ضعيفة تعرف بالهزات الطلائعية أو (Fore - Shock). لقد رصدت مثل هذه الهزات قبيل زلزال أغادير المدمر 1960 في المغرب العربي. ولو تم الانتباه جيداً لها لتدنى عدد الضحايا البشرية كثيراً عما حصل في الواقع. ولكن كثيراً ما لايهتم الناس بمثل هذه الهزات خاصة في مناطق حدوث الزلازل، لأنها كثيرة الحدوث. ومما يزيد من حيرة علماء الزلازل والناس أنه من الصعب تحديد أي الهزات أساسي وأيها الطلائعي. فمثلاً في زلزال التشيلي المدمر (1960) كانت الهزة الأولى شديدة القوة ولقد ظنها الكثير هزات طلائعية. ومع ذلك فإن الهزات التي تكررت في اليومين التاليين كانت أقوى من الأولى بعشرين مرة تقريباً. وعليه هل تعتبر الهزة الأولى طلائعية والهزات القوية التالية هزات رادفة؟ وهكذا نرى صعوبة التمييز في بعض الحالات ما بين الهزات الطلائعية والأساسية والرادفة. ولعله من الأفضل أن نفكر بالعواقب الوخيمة التي تنجم عن هذه الهزات سواء كانت أساسية أم طلائعية أم رادفة.

2-ظاهرة الضوء والصوت

يشاهد الناس في كثير من الحالات قبيل وقوع الزلزال وحتى أثناء وقوعها ضوءاً أخضر يميل للصفرة في أماكن معينة في الجو فوق المرتفعات ذات القمم الحادة، كما ترى فوق الأبنية العالية أو المآذن أو أبراج الكنائس.... إلخ. وقد يظهر الضوء على شكل هالة مشعة ويشبه وميض البرق أحياناً وقد يضارع في إشعاعه الشفق القطبي (أورورا).

وهكذا رأى سكان مدينة عشقباد عاصمة جمهورية تركمانستان أشعاعاً وهاجاً فوق جبال كيبيت داغ المطلة على المدينة، وذلك أثناء حدوث زلزال عام 1948. كما شاهد الناس الإشعاعات البرقية في زلزال ألمانيا لعام 1911. ويعتقد أن لهذه المظاهر الضوئية ارتباطاً بالحالة التي تعيشها الكهرباء

الجوية في ظروف الزلازل. وقد يكون سبب وجودها تبدل وتغير النظام الحراري بشكل فعال فوق مناطق البؤر الزلزالية. إذ إنه نتيجة لاحتكاك كميات كبيرة من الجزئيات الهوائية احتكاكاً كبيراً ترتفع حرارة هذه الجزئيات كثيراً فتنتشر في الجو على شكل شرارة مخيفة، وقد يكون لخطوط الكهرباء الموجودة في مناطق الزلازل دور في هذه الظواهر.

كثيراً ما يبلغ حين وقوع الزلازل عن سماع أصوات وهدير عميق أو ضجيج مخيف. ومثل هذه الأصوات قد يكون مردها إلى تكسر الأبواب والنوافذ والأشجار وخاصة في الغابات أو بسبب الانهيارات الكبيرة في المدن وفي المناطق الجبلية. ولكن لوحظ أن بعض الأصوات تسمع قبل وقوع الزلزال وبعضها يرافقه والآخر بعدها. وفي حالات نادرة تسمع الأصوات ولا تقع الهزات الأرضية.

وفي سنة (1935)، وقرب مدينة تيميسكا مينغ الواقعة في مقاطعة كيوبيك في كندا روي عن أحد الأشخاص الحكاية التالية:

«لقد كان مستقلياً على سريره يريد النوم وقبل أن يأخذه[*2] النوم، لاحظ أن النافذة الداخلية قد فتحت بسرعة (ويجب أن نوضح أن النوافذ في الأقاليم الشديدة البرودة كما في كندا وشمال الاتحاد الروسي مؤلفة من نافذة خارجية وأخرى داخلية بينهما فراغ للإقلال من عملية النقل الحراري والتخفيف من شدة البرد)، في هذه اللحظة سمع هديراً شديداً ظنه في البداية صوت ريح قوية جامحة. ولكي يطمئن على أن النافذة لم تتحطم وقف على قدميه فوق السرير ليغلق النافذة جيداً. وكانت قدماه على حافة السرير، وفي نفس الوقت اندفع السرير من تحت قدميه فارتطم بالجدار وسقط بقوة على الأرض». وهكذا نرى أن الرجل قد سمع الأصوات قبل حدوث الهزة الأرضية. ويشير ذلك إلى أن الموجة الصوتية قد سبقت في قدومها الأمواج الاهتزازية. لقد سمع بهذه الروايات كثيراً فهي ليست بقصة مختلفة.

إن سبب الأصوات على ما يبدو أنه يظهر وسط الصخور الصلبة أمواج اهتزازية ذات فترات دورية قصيرة جداً ولكنها ذات ذبذبات سريعة وكبيرة. فعندما تصل إلى سطح الأرض الخارجي تنتشر الأمواج الصوتية هذه في

(*2) يو. يوسفين. الزلازل والكوارث والإنسان. موسكو 1982 ص/93.

الغلاف وفي كتلة المياه معطية دوياً وصوتاً كما في باطن الأرض.

3- الساحة المغناطيسية والكهربائية

لقد دلت الدراسات الجيوفيزيائية عن الساحة المغناطيسية للأرض أن خصائص هذه الساحة تتغير بوضوح في مناطق حدوث الزلازل وذلك حين وقوعها، وقد يتم ذلك قبل ذلك. وهكذا عندما وقع زلزال عام (1862) في مدينة سيلينفين تغير الانحراف المغناطيسي بمقدار (3,5)درجة، وتبدلت الساحة المغناطيسية بشدة حسب معطيات بعض مراكز الرصد الزلزالية عندما حدث زلزال عنيف في جنوب شرق إسبانيا في سنة 1884. ويجب أن نشير إلى أن خصائص الساحة المغناطيسية تغيرت بشدة في منطقة لشبونة قبل وقوع الزلزال بيومين، وزلزال لشبونة من أكثر زلازل العصر تدميراً وشدة.

إن الارتباط بين حدوث الزلازل وتبدل خصائص الساحة المغناطيسية في أماكن حدوث الزلازل أمر مفهوم نظرياً. إذ إنه عند حصول الزلزلة يتم في الأرض إعادة توزيع الصخور الممغنطة بشكل مغاير لما كانت عليه، الأمر الذي ينعكس على تبدل مظهر وسمات الساحة المغناطيسية. ولقد برهن بعض العلماء السوفييت على أن الخصائص المغناطيسية لبعض أنواع الصخور تتغير نتيجة لانضغاطها في باطن الأرض قبيل حدوث الزلازل. ولقد تم الكشف في بعض الزلازل القوية عن توترات شديدة في الساحة الكهربائيةالجوية خاصة قرب سطح الأرض. ويعزو بعض العلماء ذلك إلى تسخن بعض المعادن في باطن الأرض عند حدوث الزلازل. وفي ظروف الضغط الباطني الشديد تنطلق شحنات كهربائية موجبة. مما يؤدي إلى تغيير واضح في واقع الساحة الكهربائية في الطبقات الدنيا من الجو.

4- تأثيرات على سطح الأرض

تظهر على سطح الأرض تبدلات مهمة عند حدوث الزلازل، وتتجلى هذه التغيرات في تشكل الشقوق وحدوث الانهيارات والالتواءات وارتفاع بعض الأماكن وانخفاض أماكن أخرى. وقد تؤدي إلى ظهور الجزر في البحار. مثل هذه التغيرات في مظاهر السطح ترافق عادة زمن حصول

الزلازل، لذا تسمى بالتبدلات الاهتزازية. ولكن هناك تغيرات يتم حدوثها بعيد وقوع الهزات الأرضية، ممثلة بالانهيارات الصخرية الكبيرة وبانزلاق وتساقط الصخور القليلة التماسك، وقد يرافق ذلك ظهور الغبار وتشكل سيول الأطيان وبخاصة في المناطق الجبلية، كما أنه قد تظهر مخاريط من الخبث أو الرمال بسبب اندفاع المياه الباطنية العادية والمعدنية بعنف نحو الأعلى. كما أن بعض الينابيع قد تظهر وأخرى تختفي. تعرف هذه بالتبدلات اللاحقة أي تبدلات ما بعد الزلازل.

5- التبدلات الاهتزازية:

نتيجة للحركات التي تسببها الهزات الأرضية تحدث تبدلات مهمة على سطح الأرض، إذ تتشكل الشقوق وتخسف بعض الأماكن أو ترتفع.

أ- الشقوق

هي أكثر الأشكال مرافقة للهزات الأرضية، وتشاهد في كل أنواع الزلازل. وتقسم الشقوق إلى شقوق مفتوحة، إذ نجد شفتي الشق متباعدتين وأخرى مغلقة ملتحم شقاها. ونميز كذلك شقوقاً ذات شفتين متحركتين وقد تكون خلاف ذلك. تتشكل الشقوق بآن واحد في الكتل الصخرية المتماسكة والفرطة، وفي الحالة الأخيرة ستتعرض للتشوه كثيراً. وتتجلى الشقوق واضحة في المباني السكنية والمنشآت وتمثل السبب المباشر لسقوطها وانهيارها. تأخذ الأشكال أو المنظومات الشقية اتجاهات محددة غالباً. ففي منطقة البؤر الزلزالية نراها شديدة الانحدار، وتقل زوايا الانحدار كلما ابتعدنا عن البؤرة وقد تتعرض بعض الشقوق في البؤرة الزلزالية للانحراف.

كثيراً ما تتعرض القشرة الأرضية للحركة عبر هذه الشقوق. ففي إيطاليا عندما حدث زلزال كالابري في سنة (1783) اخترقت الشقوق برج تيرانوفا المستدير كاملاً. الأمر الذي أدى إلى انخفاض أحد أجزاء البرج بما يزيد على عشرة أمتار. وفي بعض الحالات نجد أن بعض الأشياء الموجودة قرب الشقوق تقوم بحركة دورانية أو التفافية. ففي زلزال أنديجان في الاتحاد السوفييتي السابق، الذي حدث في سنة 1902 انحرفت الأعمدة الصخرية الموجودة في سياج مقبرة المدينة بمقدار سبع درجات باتجاه حركة عقارب

الساعة. قد تظهر الشقوق في الصخور متفردة أو مجتمعة وهي ذات أطوال متباينة. ولقد امتد شق عظيم في منغوليا نتيجة لوقوع زلزال (4) ديسمبر (ديكابر) من عام 1957 مسافة (270 ـ 280)كم، وتفاوت ارتفاع ارتفاع شفتي الشق بمقدار (328)7م في بعض أجزائه.

إن عمق الشقوق المفتوحة غير معروف تماماً، ولكنها ذات امتدادات متباينة ولا تزيد عادة على (10ـ 12)م. أما سعة أو عرض الشق فقد يصل إلى 5.4م. لقد شوهدت مثل هذه الشقوق في ضواحي مدينة صنعاء في وادي ظهر، ويروى أن بعض الحيوانات قد سقطت فيها ونفقت. مثل هذه الشقوق تكونت في الأندلس عام (1884)م وماتت فيها بعض الأغنام والماعز، كما لوحظ أن شفاه بعض الشقوق قد التحمت بقوة وتحركت، الأمر الذي أدى إلى انصهار سطوح الاحتكاك وإلى تغير خصائصها. مثل هذه الحادثة تمت في منطقة وادي ظهر السابقة إذ تحول سطح الاحتكاك من صخر حجر رملي إلى كوارتزيت. ولقد وقع حادث مؤسف في أحد الزلازل الذي شهدته جبال آسيا الوسطى في الاتحاد السوفييتي السابق، إذ ظهر شق واسع نتيجة للحفرة الأرضية فوقع فيه مصادفة أحد الرجال وفي نفس اللحظة حدثت هزة رادفة فانطبقت شفتا الشق على الرجل وسحق تماماً. مثل هذه الحوادث ليست نادرة، فلقد ابتلع أحد هذه الشقوق بعيراً في اليمن، كما شهد مثل هذه الأحداث زلزال كالابري في إيطاليا (1783).

يظهر لنا الجدول التالي أبعاد الشقوق والصدوع التي تكونت نتيجة لبعض الهزات الأرضية العنيفة.

تأخذ الشقوق الزلزالية مظهراً ونظاماً معيناً، وغالباً ما تنتشر زمرا متوازية، وقد تتجمع في أحيان أخرى على شكل حلقي. وفي زلزال كالاباري في إيطاليا (1983) شوهدت شقوق شعاعية الشكل. وقد تتقاطع العديد من المنظومات الشقية مع بعضها البعض بزوايا معينة. وتظهر الشقوق العمودية على شكل جروف وقد تكون متدرجة لتوالي حركات الرفع خلال زلزال أو أكثر. ونشاهد مثل هذه التدرجات بشكل واضح في جبل النبي شعيب في أواسط اليمن.

					الحركة أو الزحزحة (م)	
موقع الشق أو الصدع	سنة التشكل	الطول (كم)	العرض (م)	العمق (م)	عمودي	أفقي
(1)	(2)	(1)	(4)	(5)	(6)	(7)
كالابري ـ إيطاليا	1783	2-1	1 , 5	6	-	-
نيوزيلندا	1848	100	-	-	-	-
- -	1855	150	-	-	3	3
أخاني ـ اليونان	1861	13	2	-	-	-
سان فرانسيسكو	1868	-	15-12	-	2	2
أندلوزيا ـ إسبانيا	1884	3	4	10	-	-
زائيليسكي آلاتاوي	1887	3-2	0 , 5	-	-	-
آلاسكا	1889	-	-	-	15	-
مينوأتاري ـ اليابان	1891	160	-	-	20	4
آيسلاند	1896	15	-	-	2 , 7	-
آسام ـ الهند	1897	63	-	-	5	17 , 5
آلاسكا (الولايات المتحدة)	1899	-	-	-	-	-
منغوليا	1905	400	-	-	5	20
جزيرة تايوان	1906	40	-	-	2	3
كاليفورنيا	1906	550	-	-	-	6
خليج ساغامي ـ اليابان	1923	25	-	-	2-1	9-5
بلغاريا	1928	-	-	-	2 , 5	-
عشقباد ـ الاتحاد السوفييتي	1948	-	-	-	1 , 5	-
جبال ريشي بوغدو (منغوليا)	1957	280			328	-

ب- الانهدامات

قد يؤدي تقاطع العديد من الشقوق إلى هبوط وخفس جزء من القشرة الأرضية. مشكلة بذلك حفزاً انهدامية. ففي زلزال عام 1862 الذي حدث قرب بحيرة ياي كال في الاتحاد السوفييتي هبطت قطعة من الأرض (100)كم^2 إلى مادون مستوى سطح البحيرة مكونة بذلك خليجاً عمقه 8م. وفي آسيا الصغرى (تركيا) اختفت بلدة أونلر نتيجة لهزة أرضية وذلك في سنة (1869).

وخسفت مدينة كانتاكجي التشيكية كاملاً سنة (1868). ولقد هبطت أجزاء من مجرى نهر الميسيسبي في الولايات المتحدة الأمريكية عام (1811) وتكونت هناك بحيرة كبيرة غنية بجذوع الأشجار الميتة.

قد تتسم بعض مناطق الهبوط بعمقها الكبير. ففي زلزال (1923) المدمر والذي حدث في اليابان انخفض قاع خليج ساغامي بمقدار (300ـ 400م) ولعل انهدام غور نهر الأردن خير مثال على شدة الخفس الذي أصاب المنطقة نتيجة للحركات البنائية والزلزالية. وكما نعلم ينخفض البحر الميت قرابة (400)م تحت مستوى سطح البحر. ولكن كثيراً ما تكون الأماكن الهابطة قليلة المساحة والعمق كما هي الحال في كثير من المناطق الزلزالية.

جـ- التضاريس الزلزالية الناهضة

لاتؤدي الهزات الأرضية إلى خفس لسطح الأرض فقط، بل إنها في كثير من الحالات تتسبب في نهوض وارتفاع قطع من الأرض مقارنة بما يجاورها من أماكن، ففي زلزال سونوري (1887) الذي وقع في شمال المكسيك ارتفعت بين صدعين متوازيين سلسلة من التلال بعلو سبعة أمتار. وفي زلزال آسام ظهرت العديد من الجزر الصغيرة في البحر وبلغ طول إحداها (150)م وعرضها (25)م، وفي زلزال آسيا الوسطى المشهور (1911) الذي تم في حوض نهر آغ صو ارتفعت حافة أحد الصدوع حوالي عشرة أمتار وبامتداد 150كم، وذلك على شكل جرف شديد الانحدار. وفي بعض الحالات نلاحظ ظهور منظومات تلالية أو تلال منفردة مخروطيةالشكل تذكرنا التلال البركانية، إلا أنها أصغر حجماً وارتفاعاً، وسببها اندفاع الماء الباطني نافورياً نحو الأعلى (ارجع إلى فصل القصص الزلزالي). هذه التضاريس هشة وكثيراً ما تزول بسرعة.

التبدلات الاهتزازية اللاحقة

هذه التغيرات في مظهر سطح الأرض نتاج الهزات الأرضية بالطبع، حدثت بعد وقوعها. إذ إنها تسببت في ظهور خلل في التوازن الثقلي للصخور، فضعفت قوة تماسكها والتصاقها بالقاعدة الصخرية الأم (الانزلاقات، الانجرافات الصخرية)، كما أنها أدت إلى ظهور خلل في نظام الجريان المائي السطحي والباطني، فتدفقت سيول الوحل والخبث جارفة أمامها كل

ما يعترضها من عقبات. كما أنها أدت إلى تشكل الينابيع المعدنية والعادية وإلى انطلاق الغازات.

1 - الانهيارات الصخرية

تكثر حوادث الانهيارات الصخرية في المناطق الجبلية، إذ نرى كتلاً صخرية كبيرة تندفع نحو الأسفل، وقد يهبط جزء كامل من سفح شديد الانحدار محدثاً أصواتاً مرعبة ومدمراً كل ما يصادفه في طريقه أو يقع تحته. وقد انشقت بعض الكتل الصخرية وهبطت نحو الأسفل بقوة جنونية. ويعتقد أنه في سلاسل جبال القفقاس الصغرى وبسبب حدوث زلزال عام (1139) انهار جزء من جبل كياباز (KiapaZ) والذي يبلغ ارتفاعه (2980)م، وكانت الصخور مؤلفة من الكلس المشقق وقدر حجم الصخور المنهارة بحوالي (2000)م3، وكونت لسانين صخريين ضمن الأودية وبامتداد (6و9)كم، وبلغ حجم الصخور المنهارة في منطقة الزلازل هذه أكثر من كيلو متر مكعب. ولقد شوهد انهيار أكبر في جبال بامير الشامخة الصعبة المنال. فبعد زلزال (16فبراير من عام (1911) انهالت أجزاء واسعة من سفح جبلي غني بالصفاح والغضار فكونت سداً صخرياً في وادي نهر بارتانغ بلغ طوله (5)كم وعلوه (700)م. وبلغ حجم الصخور المنهارة والمجروفة (5)ملايين م3. ولقد قدر أن حجم الصخور المنهارة هذه تكفي لتغطية موسكو كاملاً بطبقة من الصخور يصل سمكها إلى (15)م.

في كل الزلازل الجبلية تحدث مثل هذه الانهيارات ولكن بمقاييس أصغر، وفي الواقع كلما كانت الجبال أحدث وأكثر ارتفاعاً وتعقيداً كان حجم الانهيارات والانزلاقات أكبر. وليس من النادر أن نشاهد في مثل هذه الجبال انزلاقاً كاملاً للغطاء الحجري والحصوي الجاثم فوق السفوح التي تعرضت للهزة الأرضية.

2 - الينابيع والجريان السيلي

أن تكون الصدوع والشقوق في باطن الأرض نتيجة لتأثير الزلازل كثيراً ما تتقاطع مع مرآة المياه الباطنية، فتتغلغل المياه عبر الشقوق نحو السطح مكونة بذلك ينابيع جديدة وقد يؤدي الأمر إلى اختفاء ينابيع سابقة. أما إذا ما امتزجت المياه المتدفقة مع الفتات الصخري الناعم (طين، رمل، جص ناعم) فإنها تكون سيولاً من الخبث الطيني أو من المواد الطينية والرملية

الدقيقة (سيول العكر)، وهذا النوع من السيول كثير الحدوث في الجبال كهيمالايا والألب والقفقاس. وفي زلزال جبال ألماآتا في عام (1887) ظهرت مجار سيلية خبثية كثيرة أدت إلى غمر بعض الأدوية بسماكة (40)م وبامتداد وصل إلى (10)كم. وفي بعض الأماكن بلغت سماكة الأطيان المتراكمة (60)متراً. وقدرت سرعة انحدار السيل بستين كيلومتراً في الساعة في زلزال هايت (آسيا الوسطى) في عام (1949). وفي العادة سيول الخبث بطيئة ولاتزيد سرعتها على (100-200)م في اليوم.

3 - الانزلاقات

تزداد فعالية عمليات الانزلاق الترابي والصخري في فترات الزلازل، ويمكن لهذه الانزلاقات الزلزالية أن تأخذ أبعاداً كبيرة. وفي زلزال ألماآتا السابقة الذكر ظهرت انزلاقات سطحية في جبل (زا ايلي) بمساحة (400)كم2. ولقد فاقت انزلاقات صخور اللوس في الصين في زلزال سنة (1920) حدود التصور إذ إنها أدت إلى هلاك أكثر من 200ألف إنسان. وبالطبع مثل هذه الانزلاقات والانهيارات تغير كثيراً من ملامح وواقع المظهر التضريسي. وكثيراً ما تساعد على ولادة المستنقعات والبحيرات والينابيع العادية والمعدنية. تشهد قيعان المحيطات خاصة مناطق العتبات والسفوح القارية حوادث انزلاق طيني واسعة الأبعاد، تزيد كثيراً على مثيلاتها في القارات، وقد تمتد إلى عشرات بل مئات الكيلومترات باتجاه الانخفاضات المحيطة (ارجع إلى القصص الزلزالي). ويجب ألا ننسى دور أمواج التسونامي في تخريب السواحل وتغيير معالمها.

4 - الأمواج المحيطية المائية الزلزالية(*3) (**التسونامي** Tsunami)

قد تتمركز البؤر الزلزالية ليس في القارات وإنما في قيعان البحار أو المحيطات. ونتيجة لذلك قد تتسبب الزلازل هذه في حدوث أضرار مادية جسيمة جداً، تفوق أحياناً مثيلاتها في القارات، وأكثر الأماكن تضرراً المناطق الساحلية. كثيراً ما يتم الشعور بالهزات الأرضية البحرية على ظهور السفن التي تمخر عباب البحر في مناطق وقوع الزلازل، والروايات التي تحدثت عنها متشابهة. فلقد ظن بعض البحارة في البدء أن مرساة السفينة قد سقطت فاهتزت السفينة، ثم توقع ربابنة السفينة أن الهزة

(*3) جوكوف، الجيولوجيا العامة، 1973.

سببها اصطدام السفينة بعائق أو كتلة صخرية أو قاع في ماء ضحل.

في جميع الأحوال، لا تتجاوز الأضرار التي تصيب السفن عن الهلع الكبير الذي يصيب ركاب السفينة نتيجة للزلزال، وكثيراً ما لايبلغ عنه. مع أن الآثار التدميرية لبعضها مرعب.

لقد شكل زلزال التشيلي في سنة (1960) موجة مائية هائلة وعارمة في المحيط الهادي نتج عنها تخريب هائل ليس في التشيلي فقط، بل وفي أماكن أخرى بعيدة كثيراً عن التشيلي كجزر هاواي واليابان.

لقد أطلق على هذه الأمواج في البداية اسم الأمواج المدية نسبة لظاهرة المد البحري المعروف، ولكن التسمية لم تلق الرواج اللازم، وذلك لأنها لم ترتبط بظاهرة المد والجزر التي سببها جذب القمر والشمس. وهكذا عدل علماء الزلازل عن هذه التسمية واستبدلوا بها التسمية اليابانية وتعني تسونامي والمؤلفة من جزأين (TSU) وتعني ميناء و (Nami) الموجة. وعانت اليابان كثيراً من هذه الأمواج خلال تاريخها المشحون بالزلازل.

لنترك الآن عالم الزلازل الياباني إيمامور (A. Imaura) يصف لنا التسونامي الناجم عن زلزال عام 1896 الذي ضرب سواحل اليابان بقسوة. إنه يقول: «إن هذا التسونامي العملاق المرعب حدث في سانريكو، وذلك في يوم من أيام الأعياد اليابانية عندما كان الناس يستمتعون بعيدهم ووقتهم. الهزة كانت عادية وشعر بها كل الناس وتمت في الساعة السابعة مساء. ولكن تبين فيما بعد أن الزلزال كان قوياً بما فيه الكفاية. إلا أن مركزه بعيد في عرض المحيط. بعد ذلك شعر الناس بالعديد من الهزات الرادفة الضعيفة، ولم يعيروا هذه الهزات الاهتمام اللازم. ولم يعرفوا شيئاً عن الهزة الأولى الأساسية. لذا لم يقوموا بأداء أية إجراءات وقائية. ولكن بعد مرور عشرين دقيقة على الهزة الأساسية بدأ ماء البحر بالانحسار، ومع قدوم الساعة التاسعة سمع ضجيج يشبه صوت الانهيارات الصخرية العنيفة، وكان هذا مؤشر على اقتراب موجة التسونامي التي تراوح ارتفاعها بين عشرة وعشرين متراً. وهكذا أدرك الناس الواقع الرهيب الذي يلفهم، إلا أن الوقت كان متأخراً».

ويروي أحد الأحياء أن البحر لم يكن متموجاً كثيراً، إلا أن هدير الماء كان يسمع جيداً ويذكرنا بهدير عواصف التورنادو. ولو استثنينا القليل من

الناس الذين نجوا من الموت بمعجزة، لوجدنا أن كل الناس الموجودين في المدن والقرى القريبة من خط الساحل قد ابتلعتهم أمواج التسونامي وهم في أسعد لحظات حياتهم. ولم يلحظ صائدو الأسماك الذين كانوا في عرض البحر شيئاً مما حدث في الشواطىء. وما أن عادوا إلى موطنهم حتى أذهلهم ما شاهدوا من دمار وتخريب وموت.

لقد رأوا الأمواج الراجعة تحمل على ظهرها حطام البيوت والقوارب ومختلف السفن وجثث الناس. وعند ذلك علم هؤلاء هو الدمار الذي خلفته أمواج التسونامي الزلزالية. فلقد دمر تماماً (10617) منزلاً وتضرر كثيراً (2456)بيتاً، كما قتل حوالي من (27122) إنساناً وجرح 9247 شخصاً.

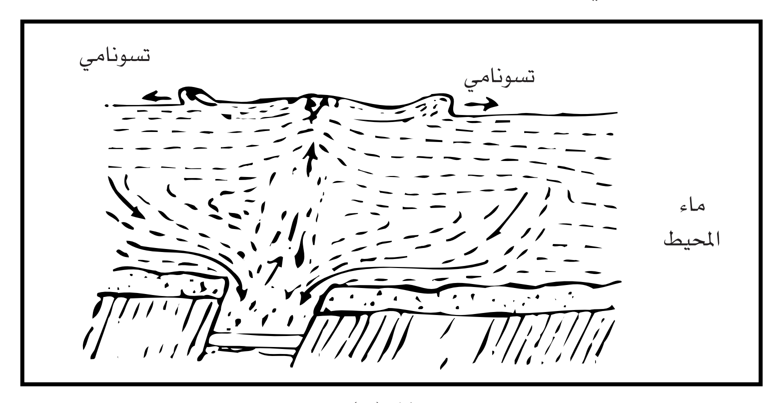
يجب أن نذكñر هنا بزلزال مدينة لشبونة عاصمة البرتغال لقد كان زلزالاً مدمراً ونادر القوة ولقد حدث في سنة (1775). وكان مركزه قاع خليج بسكاي غير البعيد عن لشبونة. لذا فإنه ألحق أضراراً جسيمة بها عبر الارتجاجات الأرضية والتسونامي. لقد تهدمت الحواجز المرمرية الجميلة المجاورة للبحر وامتطتها الأمواج العاتية، دافعة أمامها جثث الناس وحطام السفن الراسية. ولقد هبط قاع الخليج بشدة وبلغ عمقه (200)م. وهنا وكما في الأماكن الأخرى تراجعت الأمواج عن الشاطىء في البداية، وبعد ذلك هجمت موجة عارمة على الشاطىء وبعلو وصل إلى (26)م متكسرة فوق صخوره ومنشآته. وامتد طغيان الماء إلى عمق (15)كم ضمن اليابسة. وتوالت ثلاث موجات تسونامية تباعاً. وظهرت آثار الزلزال على كل الساحل الشرقي للمحيط الأطلسي. وبلغ ارتفاع الموجة عند قادس (20)متراً وحوالي ستة أمتار في الشاطىء الأفريقي (مدينة طنجير المغربية). وتدنت في جزر ماديرا إلى خمسة أمتار.

لقد فسر ظهور موجة التسونامي وظاهرة الجزر المحيطة والبحرية على النحو التالي: تتشكل نتيجة للتبدلات والتشوهات البنائية في قاع البحر والمحيط موجة ضغط تنتشر وتمتد نحو الأعلى. وفي هذا المكان من البحر أو المحيط تنتفخ المياه بشدةمكونة بذلك جرياناً قصير الأمد يتحرك في كل اتجاه. وقد ينطلق نحو الأعلى بقوة دافعاً الماء بضع عشرات من السنتمترات (33سم غالباً). ويرافق هذه الحركة هدير مائي عميق. وتتحول بعد ذلك هذه الموجة المتدفقة عند السطح الخارجي إلى موجة تسونامي

وتسلك كل الاتجاهات. أما ظاهرة الجزر أو الانحسار المائية فمردها إلى حركة المياه المتهيجة نحو منطقة الخفس والانهدام في قاع البحر أو المحيط. ومن ثم ومن مكان الانهدام تتدفع نحو الأعلى في منطقة البؤرة الزلزالية مؤدية إلى تشكل ظاهرة التسونامي (شكل38). سرعة موجة التسونامي عالية، وتحسب استناداً إلى العلاقة التالية:

$$V = \sqrt{gD}$$

إذ إن g تعني تسارع قوة الثقالة، وD عمق الماء.



شكل (38)
تشكل موجة التسونامي

إن العمق المتوسط لقاع المحيط الهادي (5 , 5)كم. ولو اعتبرنا أن قيمة D تعادل (4500)م وكما نعلم أن تسارع الثقالة يعادل 8 , 9م/ثا مربعة. فإن تطبيق العلاقة السابقة يعطينا النتيجة التالية:

$$V = \sqrt{9,8 \times 500} = \sqrt{52920} = 230$$ م/ثانية

يعطينا هذا الرقم النظري صورة تقريبية عن سرعة موجة التسونامي. ففي زلزال التشيلي المشهور (1960)وصلت موجة التسونامي إلى جزر الهاواي الواقعة على بعد (10600)كم عن التشيلي خلال (14) ساعة و (56) دقيقة. أي بسرعة متوسطة تعادل (707)كم ساعة. أما اليابان الواقعة على بعد 17 ألف كم فلقد بلغتها الأمواج التسونامية بسرعة (770)كم ساعة وسطياً.

وتدل معطيات مراكز الرصد الزلزالية الواقعة عند شواطىء المحيط الهادي، إلى أن فترة موجة التسونامي تعادل ساعة تقريباً وحسبت كالتالي:

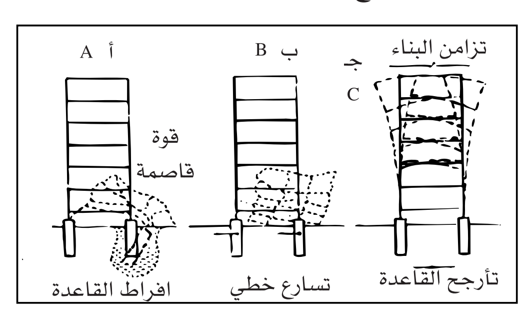
$$\lambda = \nu T$$

إذ إن V-سرعة الموجة و T-فترة الموجة. وهكذا نرى أن طول الموجة قرابة (830)كم ومداها في عرض البحر قرابة الشهر(*4)، وفترتها ساعة تقريباً. ولا تشعر البواخر بمرورها. ولهذا السبب يصعب ملاحظة الموجة في عرض البحر، ولكن ما أن تقترب من الشاطىء وتجري فوق العتبة القارية المحيطية أو البحرية تتناقص عمق المياه كثيراً، فتقل سرعة الموجة التسونامية، ولكن رغم تناقص السرعة تندفع الطاقة المحركة لموجة الماء نحو الأعلى على شكل موجة عارمة يتراوح ارتفاعها بين (15و25)م وسطيا وأحياناً أكثر من ذلك. وإذا ما تغلغلت مياه البحر أو المحيط في الخلجان والمضائق والموانىء يزداد ارتفاع الماء واندفاعه وقد يصل ارتفاعه إلى (30)م وأكثر كما حدث في شواطىء اليابان خاصة.

(*4) ايبي، المصدر السابق.

8 المباني والزلازل

تعتبر المنازل والمنشآت البنائية المختلفة الأكثر تضرراً بالهزات الأرضية، وهي التي تحمل عادة المصائب والكوارث للبشر. إن أشكال التهدم البنائي تسبب الزلازل كثيرة التنوع. ومع ذلك يمكن أن نحدد العلاقة بين المساكن والأمواج الاهتزازية الزلزالية عبر ثلاثة نماذج أساسية (شكل39):



شكل (39)

مسببات تهدم الأبنية زلزاليا

أ- حركة القاعدة الصخرية غير المرتدة (A)

ب- قصم دعائم الطابق الأول (B)

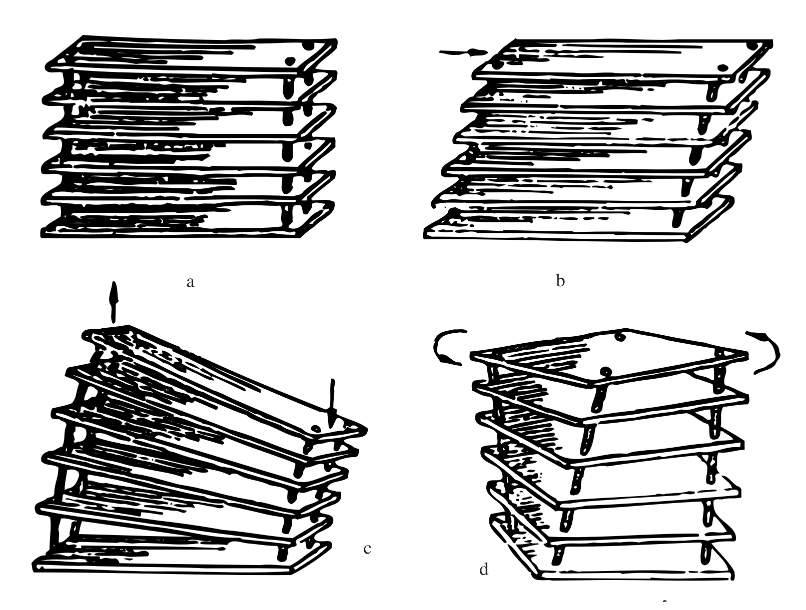
جـ- تزامن اهتزاز البناء والأمواج الاهتزازية (C)

والأمر الأهم هنا هو درجة متانة البناء ومدى تشبثه بالأرض ومتانة الأساس البنائي ثم طبيعته وبالتحديد صلابته وتماسك القاعدة الصخرية التي أرسيت فوقها قواعد البناء. كل هذه الأمور تلعب

الدور الفعال في تحديد العلاقة بين الهزات الأرضية ودرجة مقاومة أو تخرب الأبنية(*).

يهدد النموذج التخريبي الأول الأبنية المتينة المقامة على قاعدة صخرية قليلة الصلابة نسبياً. ويتمثل السبب الأول في عملية التخريب في انعدام الحركة الارتدادية في القاعدة الصخرية إثر قدوم الأمواج الاهتزازية. وهكذا تفقد القاعدة تماسكها تحت تأثير التأرجح الموجي السريع والعنيف. وفي بعض الحالات نجد أن القاعدة تكتسب صفات السيولة، كما في القواعد الصخرية الرملية واللوسية (فتات صخري ناعم قليل التماسك)، وذلك عندما تصدمها وتتغلغل فيها الأمواج الزلزالية فتنزلق تحت الأبنية وكأنها تجرى كما نلاحظ في حالات خاصة أن مقاومة القواعد الصخرية غير متماثلة، مما يؤدي إلى خفس جزء من القاعدة الصخرية أو انزلاقه. فيتهدم الطرف الواقع فوقه من البناء بينما أضرار الجزء الآخر أقل بكثير ولا ينهار غالباً. وإن كان البناء قوياً جيد التصميم قد ينقلب ويضطجع على طرفه الذي تعرض للهبوط. وحدث مثل هذا الأمر في مدينة نييفاتا اليابانية عام (1964) ولحقت نتيجة لذلك أضرار طفيفة بالأبنية المائلة. ولكن قد يحدث العكس، إذ قد يتسبب هبوط القاعدة الصخرية في وقوع كوارث حقيقية كما حدث ذلك في الصين في القرن السادس عشر، إذ دفن مئات الآلاف من الناس تحت أنقاض طبقات اللوس المتداعية، وكان السكان يتخذون المغائر أماكن سكنى لهم. أما النموذج الثاني من الأضرار والتخريب فإنه يظهر عندما تكون القاعدة الصخرية صلبة، ولكن البؤرة الزلزالية السطحية قريبة جداً من السطح. في مثل هذه الظروف ترد الأمواج الطولية أولاً وهي ذات فترة تموجية قصيرة، ولكن تزايد المدى الموجي سريع جداً، لذا يقع التسارع الاهتزازي الزلزالي في لحظات. وقد يمكن للقاعدة الصخرية والبنائية تحمل الضربة الأولى. ولكن قد تتعرض قواعد المنازل لصدمة هائلة ذات اتجاه أفقي وحيد، مما يؤدي إلى عملية كسر وقص عنيفة للقاعدة وربما للطوابق الدنيا فتضغط الطوابق الأعلى على السفلى بقسوة وتهدها. وحتى عندما تضرب الأمواج الاهتزازية القواعد رأسياً قد تضغط الطوابق العليا على الطابق الأول فتهدمه. وفي حالات قليلة قد

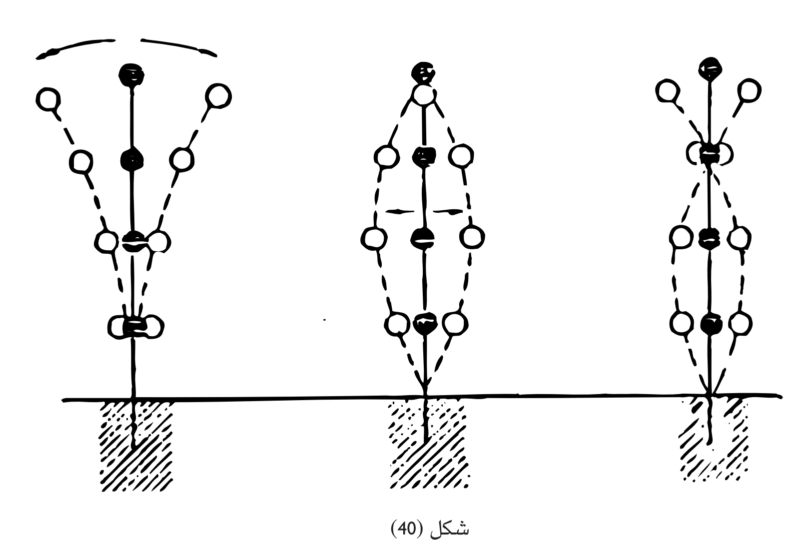
(*) ي.ف. بولياكوف، الأبنية المقاومة للزلازل، موسكو 1983.



مظاهر تشوه الأبنية عند تأرجحها

a- هدوء　　　b- إندفاع افقي

c- اثناء　　　d- انفتال (دوران)



شكل (40)

نماذج أشكال تأرجح المباني

تزحف الطوابق العلوية باتجاه ما وكأنها تنزلق فوق الطوابق الأدنى. ووقع مثل هذا الأمر في سنة (1979) في مدينة بورفا (يوغسلافيا) وذلك في فندق سياحي أقيم حديثاً إلا أنه من حسن الحظ لم يكن قد افتتح بعد.

قد تمتد فترة التأرجح الموجية طويلاً نسبياً، لذا نرى في مثل هذه الحالات أن الطاقة الاهتزازية للأمواج تعبر القواعد نحو الطوابق العليا ثم تعود ثانية إلى القاعدة. وبما أن البناء ليس جسماً قاسياً بالمعنى المطلق، فإنه عندما يتعرض للهزة يأخذ بالتأرجح، ويمكن للتأرجح أن يأخذ أشكالاً متنوعة: انزلاقا وزحزحة أفقية وانضغاطا متعاكسا (شكل40) وانفتالا ودورانا لكل نوع من أنواع التأرجح المذكورة فترة محددة، فإن كان لدى منظومة ما - وهنا المقصود البناء - مجموعة من الفترات الاهتزازية وطيف تأرجح الأبنية قريب أو معادل طيف تأرجح الأمواج الاهتزازية وكذلك الحال بالنسبة لفترة هذه الأطياف، فأننا نكون أمام ظاهرة فيزيائية تعرف بالتزامن الاهتزازي (Resonance). في مثل هذه الظروف تبدأ الأبنية بالاهتزاز في إيقاع منسجم مع القاعدة الصخرية، مما يؤدي إلى تنامي مدى التأرجح الاهتزازي. وفي هذه الحالة لايمكن لمرونة الأبنية أن تقاوم شدة التأرجح فتبدأ الجدران بالتشقق والبناء بالتهدم الكامل. تكثر مثل هذه المظاهر في مناطق مولدافيا وفي مناطق أخرى من حوض البحر المتوسط.

من المعروف أن الزلزلازل تحمل آثاراً تدميرية كبيرة خاصة إن لم تكن مبنية على أسس علمية تتجاوب ومتطلبات الحيطة والسلامة الزلزالية. وكلنا يعلم ما يسببه انهيار المنازل من ضحايا بشرية وسواها. لقد أوضحت التجارب أنه بالإمكان تشييد أبنية ومنشآت مختلفة ذات مقاومة عالية للزلازل. وتم تحقيق مثل هذا الأمر في بلدان مختلفة كاليابان والولايات المتحدة الأمريكية. وفي هذا المجال لابد من الاهتمام بطبيعة القاعدة الصخرية التي ستقام عليها الأبنية كما أشرنا آنفاً. ففي مناطق وقوع الزلازل يفضل إقامة الأبنية فوق الطبقات الصخرية الصلبة، وفوق الترسبات والتراكمات الفتاتية العالية السماكة. ويمكن اعتبار الأماكن غير المناسبة للبناء، تلك التي تتكون من مجروفات وترسبات صخرية هشة رباعية قليلة السماكة مؤلفة من الرمال والحصى والطين والحجارة، خاصة إن كانت مائلة أو جاثمة فوق طبقة صخرية غير بعيدة عن السطح وغنية بالشقوق

والتجاويف وغنية بالمياه الباطنية. ويجب الابتعاد عن الأماكن الواقعة تحت جروف صخرية مهما كان تركيبها. لأن مثل هذه الجروف سريعة الانهيار تحت وطأة مرور الأمواج الاهتزازية الزلزالية.

هناك بعض الأفكار التي تقول إن الأبنية المقامة فوق الكهوف والفجوات الصخرية الكبيرة والعميقة أقل الأبنية عرضة للانهدام بوساطة الهزات الأرضية. ويعتقد كذلك بأن الأبنية المحاطة بالأحواض المائية أقل عرضة لتأثير الأمواج الاهتزازية المخربة، وعليه، نجد أن المهندسين المهتمين بالزلال يؤكدون ضرورة حفر الآبار والفجوات حول الأبنية في مناطق وقوع الزلازل، واستندت مثل هذه الأفكار معطيات علمية تقول إن الأمواج الاهتزازية عندما تنتقل من وسط طبيعي إلى آخر تضعف كثيراً بل وقد تخمد، وكما نعلم تضعف الأمواج العرضانية بشدة وسط الكتل المائية السائلة، ولكن المحذور هنا قد يأتي من انهيار مفاجىء للمغائر والتجاويف الموجودة تحت الأبنية نتيجة للصدمة الاهتزازية. وقد يؤدي الأمر كذلك إلى وقوع انزلاقات صخرية شديدة. لذا يجب أن تدرس مثل هذه الأماكن بعنايةعالية للتعرف على كثافة وسعة وعمق التجاويف. وهل هنالك انكسارات وصدوع في أعماق هذه المناطق أم لا؟ كل هذه المعلومات حيوية ومؤثرة عند حدوث الزلازل.

يرى علماء الزلازل وجود نموذجين للأبنية، يمكن اعتبارهما الأفضل في مقاومة الهزات الأرضية.

الأول الأبنية الخشبية الخفيفة ذات السقوف والجدران الجيدة التماسك والارتباط. ويجب أن تكون السقوف مثبتة جيداً وغير ثقيلة أو سميكة. ومثل هذه الأبنية لا تتداعى إلا إذا تعرضت لصدمة قوية كثيراً. يمكن الإكثار من هذه الأبنية في المناطق الريفية خاصة إن توافرت المواد الخشبية كما في الأماكن الدافئة الغزيرة الأمطار (استواء ومدار). ولكن يجب التذكير بضرورة خفة السقوف

أما النموذج الثاني للأبنية فإنه يكثر في المدن عامة وفي المدن ذات المناخ البارد خاصة. يجب أن تكون الأبنية مشبعة بالأسمنت والحديد مع وجود قاعدة (فرشة) سميكة وقوية ومقاومة ومرتبطة بشدة مع الأقسام الأعلى للبناء. ومن الأفضل أن تزداد قوة البناء وشدة تماسكه من الطوابق

العليا إلى الدنيا، وذلك لأن تأثير حركة القاعدة الأسمنتية والصخور التي ترتكز فوقها على الطوابق الدنيا أشد من العليا، فهي أكثر عرضة للتخريب. كما يستحسن أن تكون الأبنية(*1) دائرة أو بيضوية الشكل. فمثل هذه الأبنية ومن التجربة قد أبدت مقاومة أكبر للزلازل من الأبينة المربعة والمستطيلة ذات الحواف والزوايا. ففي زلزال عشقباد المشهور (1948) قد تهدمت بسهولة الأبنية ذات الزوايا، بينما الأبنية المستديرة كانت مقاومتها أكبر، ولهذا السبب وجد أن المساجد المستديرة قد قاومت أكثر من سواها ولعل لمتانة المساجد دورا في ذلك أيضا. لقد شوهدت مثل هذه المظاهر في اليابان كذلك. وفي الظروف التي يمكن أن تعرف فيها اتجاهات الأمواج التي ستصل في حال وقوع الزلازل. يفضل أن تقام الأبنية بزوايا مقدارها 45درجة بالنسبة لجبهة الموجة الاهتزازية، ويجب ألا تكون متعامدة أو شبه متعامدة معها. كما أنه لمثل هذه الأسباب يفضل أن تكون النوافذ بيضوية، وذلك لأن النوافذ المربعة أو المستطيلة تتكسر بسرعة من زواياها. وفي مناطق الزلازل يفضل عدم إقامة أبنية شاهقة. ولكن علينا أن نشير في نفس الوقت إلى أن الأبنية الطابقية العالية والمتينة والمقامة على أسس علمية تقاوم الصدمات الاهتزازية بنجاح. ففي مدينة سان فرانسيسكو قاومت وبنجاح تأثير الصدمات الأبينة التي بلغ ارتفاعها 96 متراً، والمؤلفة من تسعة عشر طابقا، وفي مثل هذه الأبنية تعاني الطوابق الدنيا أكثر من العليا من الزلازل. وقد لايشعر سكان الطوابق العليا بالهزة إن كانت عادية القوة.

والمهم في الموضوع أن يؤخذ بعين الاعتبار شدة التسارع الزلزالي والتي يمكن تقديرها عبر المعادلة التالية:

$$A = \frac{4\,\Pi^2\,a}{t^2}$$

نجد هنا أن:

a - مدى التأرجح الموجي

T - فترة التأرجح الموجي

وبالطبع يتنامى التسارع مع تزايد التأرجح الموجي وتناقض فترة التأرجح. وهنالك حالات شاذة تغاير ما ذكرناه. وهو ما وقع في زلزال عام (1923) في

(*1) يوسيفين، المصدر السابق.

اليابان، إذ نجد أن المدى قد وصل إلى 50سم، ولكن في نفس الوقت بلغت فترة التأرجح الثانية الواحدة. وعلى هذه الأبنية أن تكون مزودة بشبكات كهربائية وصحية واتصالية وغازية جيدة التصميم لأن تلفها قد يتسبب في حدوث حرائق مروعة كما حدث في زلزال طوكيو الشهير وزلزال سان فرانسيسكو.

إن مسألة إقامة أبنية ومنشآت مقاومة للزلازل أمر حيوي وتتطلب تحقيق أمور هندسية معينة إضافية. فمن المعروف أنه عند تصميم الأبنية لابد من أن تتحمل أساساتها وزن وثقل وضغط البناء كاملاً. لذا يجب ألا يزيد وزن البناء عن مقدرة تحمل أساس البناء وكذلك القاعدة الصخرية لمثل هذا الوزن. ويجب أن تتحملا قوة الضغط هذه لفترات زمنية طويلة، لأن إعادة البناء أمر مكلف وباهظ. إن الأمر مختلف بالنسبة للزلازل، لأن الأبنية في حال وقوعها تتعرض لنوع آخر من قوى الضغط يختلف عن قوة الضغط الرأسية، إذ إن القاعدة الصخرية وكذلك الأساس بل والبناء كله قد يتعرض لقوة ضغط ودفع ذات اتجاهات مختلفة فقد تكون أفقية أو دورانية أو متعاكسة خافضة رافعة. وتأثير هذه القوى يغاير تماماً تأثير قوة الضغط الرأسية الناتجة عن وزن البناء. وخطورة القوى الضاغطة المذكورة تتمثل بأنها قد تبعثر أحجار الجدران أو تشققها أو ترميهانحو الخارج فتهوي السقوف خاصة إن لم تكن معشقة جيدا بها.

وعليه فإن المهمة الأساسية أمام مهندسي الأبنية المعرضة للزلازل تتمثل في التخطيط لإقامة أبنية تتميز بأن كل أجزائها مترابطة بشدة وتشكل بذلك كتلة مقاومة واحدة، يمكنها الصمود بقوة أمام الهزات الأرضية والقوى الدافعة دورانياً أو أفقيا ... إلخ. ولكن مثل هذه الإجراءات الوقائية المضافة إلى تصميم المباني يجب ألا تكون مكلفة كثيراً، ويجب ألا تزيد على 10٪ من كلفة البناء. ويجب استناداً إلى الإجراءات المذكورة ألا تتعدى الأضرار التي تلحق بالبناء نتيجة للزلزلة أضرارا بسيطة لاتتجاوز تكسير النوافذ أو بعض المظاهر التخريبية السطحية. وهذا يعني أن عمليات الإصلاح بعد الزلزال لن تكون معقدة ولا مكلفة، وفي نفس الوقت يحافظ البناء على أصالته وسلامته ومتانته.

إن المهمة التالية الواجب الاهتمام بها عند تصميم الأبنية مقاومة الأبنية

لقوة الضغط الجانبية التي قد تبدو قوية أحياناً وضعيفة أحياناً أخرى. وقد تكون ذات اتجاهات متباينة وكما نعلم أن حركة التربة الواقعة تحت الأبنية ذات مظهر فيزيائي حركي معقد كثيراً. ومن الصعب التنبؤ بقوة واتجاه هذه الحركة، ومع ذلك من المهم جداً معرفة طبيعة حركة التربة عند حدوث الهزات الأرضية، وكذلك من الأهمية بمكان معرفة فترة الموجة الاهتزازية وتسارعها الثقلي ومداها، وهي أمور بالغة الصعوبة.

إن معرفة سرعة وطبيعة حركة التربة لا تمثل أكثر من نصف المشكلة، إذ لابد للمهندسين من أن يكون لديهم تصور جيد عن طبيعة التأرجح البنائي. ويمكن تحقيق ذلك بوضع أجهزة التعرف على كيفية تأرجح الأبنية عند وقوع زلزال حقيقي. ويمكن تحديد مظاهر التأرجح والاهتزاز البنائي، إذا ما زلزلزت الأبنية اصطناعيا.

إن لمعرفة الخصائص الحركية للأبنية نتائج مهمة تؤخذ بعين الاعتبار عند الشروع في البناء خاصة بالنسبة للمنشآت البنائية البسيطة. أما بالنسبة للوحدات البنائية الضخمة والمعقدة فتستبدل الأسس السابقة بأخرى جديدة تقوم على فكرة التوازن التكافئي. فلو افترضنا أن كل جزء وعنصر من البناء المقام ستؤثر فيه قوة أفقية هي (Fi) فإنها يجب أن تتناسب طردا مع وزن العنصر (W) أي.

Fi= cw

إن قيمة (C) ليست ثابتة بل تختار حسب واقع ونوعية البناء والهدف من إقامته، أي الوظيفة التي سيقوم بها، وذلك لكي تعطي قوة مكافئة مناسبة تقاوم زلزالاً متوسط، وفي كثير من المناطق التي تعاني من الزلازل تعطي (C) مقدارا واحدا عادة وذلك عند إقامة الأبنية، ولكن يمكن استعمال قيم أخرى لـ (C)، تتناسب ونوعية البناء وطبيعة القاعدة الصخرية المقام عليها.

فمثلا لكي لاتهبط أجزاء البناء المختلفة فوق رؤوس أصحابها أو على الشوارع تفضل أن تكون قيمة (C = I). أي أن مقاومة البناء يجب أن تعادل قوة الضغط والدفع الأفقية. وبالطبع علينا أن نأخذ بعين الاعتبار وزن كل جزء من أجزاء البناء. أما في الأبنية التي تحتضن كثيراً من الناس كالمدارس والمستشفيات ... إلخ، فإنه يجب أن تكون قيمة (C) أكبر من الواحد. أما

بالنسبة للمراكز الصحية والوقائية المركزية (إطفاء، كهرباء، غاز) فإن قيم (C) يجب أن تكون أكبر ما يمكن لأن تهدمها سيسبب مشاكل مخيفة (الحرائق). إن قيم (C) تختلف كذلك حسب الارتفاع.

أما كيف يتم اختيار قيمة (C)، فإنه يعتمد على القياسات الهندسية التي تقدر وزن كل جزء من البناء ثم البناء كاملاً، وذلك لتتناسب المقاومة مع شدة قوة الضغط الزلزالية الأفقية. إن ما ذكرناه لايعني سهولة حل هذه المشكلة، وذلك لأن البشرية لاتزال في طور التجارب، وليس هنالك خطة بناء متكاملة، لأن قوة الزلازل غير محددة كما أن ظروف إقامة الأبنية تختلف من مكان إلى آخر. أضف إلى ذلك التنوع الكبير في المنشآت البنائية المختلفة ذات الكلفة العالية التي تحتاجها مثل هذه الإجراءات خاصة بالنسبة للبلدان النامية والفقيرة.

ومن الملاحظ أن خبراء الزلازل بمختلف اختصاصاتهم يراقبون الهزات القوية والمتوسطة ويهرعون إلى أماكن حدوثها لمشاهدة الأضرار والعواقب التي نجمت منها. ويهمهم بشكل خاص تلك الأبنية والبيوت التي لم تهدم كاملا فيفحص كل جزء من أجزائها للوصول إلى استنتاجات جديدة تفيد في تعميق معرفة الخبراء حول الزلازل وكيفية مقاومتها. ويمكن القول عموماً إنه من الصعب حل هذه المشكلة ولكن لابد من الاستمرار في التجربة والبحث.

٩ الإنسان والزلازل

لقد تم في السنوات الأخيرة التأكد من أن للنشاط الاقتصادي الإنساني دورا في تهيئة الأجواء في باطن الأرض لحدوث الهزات الأرضية نتيجة لحركات تصيب أجزاء من القشرة الأرضية. وبالطبع لإقامة السدود الكبيرة والقيام بالتفجيرات النووية، وبناء المدن العملاقة واستخراج الخامات المعدنية من باطن الأرض بمقياس كبير الدور الأول في حدوث هذا النوع من الهزات الأرضية. مثل هذه الأمور تؤثر في ظاهرة توازن القشرة الأرضية مما يساعد على ظهور خلل مكاني في التوازن قد يكون سببا في تجدد أو ولادة الهزات الأرضية في مثل هذه المناطق. وهكذا نشاهد أن أثر الإنسان لم يقتصر على الأغلفة الأرضية الجوية والمائية والعضوية، بل امتد إلى أعماق الأرض. هنالك من الظواهر الطبيعية التي تؤثر بدرجات مختلفة في القشرة الصخرية للأرض، كتصلب مواد التورف في مستنقعات شمال الكرة الأرضية وفي الأقاليم المدارية والاستوائية الرطبة وكظاهرة انتفاخ وذوبان الأرض في أقاليم التجمد الترابي الأبدي (ميرزلاتا) وغير ذلك من مظاهر. كل هذه المظاهر ليست خطرة في العادة ونادرا ما تؤدي إلى حدوث زلازل

ذات مغزى. والخطورة في الواقع تكمن في العمليات الطبيعية والبشرية التي تؤدي إلى تقعر وانحناء واضح في القشرة الأرضية. ونذكر هنا بخاصة عمليات استخراج الخامات المعدنية من باطن الأرض.

لقد لوحظ مثل هذا الخفس ودرس لأول مرة دراسة علمية في انجلترا، إذ تم في نهاية القرن الثامن عشر استخراج الملح بكميات كبيرة من عمق (40-70)م ولوحظ في سنة (1980) هبوط وتقعر كبير في سطح الأرض. وبعد ذلك في الفترة (1893-1912) لوحظ نتيجة لذلك أن مساحة من الأرض بقطر (3) كم قد تشوهت وغمرت بالمياه وأضحت غير صالحة للاستغلال الزراعي وولدت مستنقعات جديدة عرفت بمستنقعات تشير، وتكسرت هناك الأقنية المائية وتضررت بعض المراكز البشرية والسكك الحديدية.

فيما بعد لاقت مناجم الفحم الحجري اهتماما واضحا وأشارت الملاحظات المتلاحقة إلى ظاهرة التقعر الذي شوهد في أماكن استخراج الملح. وفي الواقع أن ظاهرة التقعر المكاني لسطح الأرض معروفة جيدا في مناطق استخراج الفحم الحجري، ففي حوض سيليز البولوني وفي تشيكوسلوفاكيا وفي حوض الرور في ألمانيا وكذلك في اليابان وانجلترا والولايات المتحدة الأمريكية وفي أقطار أخرى لوحظ مثل هذا الأمر.

لقد أجريت بدءا من سنة (1920) وفي كل خمس سنوات قياسات متتابعة لمستوى سطح الأرض في حوض سيليز الأعلى، الأمر الذي سمح للعلماء بتحديد دقيق لفعالية سرعة حركة القشرة الأرضية مساحيا وزمنيا. ولقد حدد بدقة مقدار التقعر مقارنة بالأماكن الأبعد الثابتة ارتفاعا. ووصل مقدار التقعر في مركز المنطقة إلى (3) ميلليمترات في السنة. لوحظ في أطراف المنطقة ارتفاع بسيط في مستوى الأرض ذو طابع تعويضي وبمقدار مم واحد في السنة. كما أن أماكن محددة خلال فترة (1957-1967) قد خفست بمقدار 5, 1-2 م أي بسرعة وسطية مقدارها 12-25 مم في السنة. ولكن لوحظ كذلك تناقص في شدة الهبوط والتقعر في مواضع أخرى، إذ تدنى الهبوط من (150 إلى 30 مم) في السنة. ولهذا التباين ارتباط باختلاف فعالية استخراج الفحم في مختلف أنحاء المنجم. وللتأكد من حقيقة ارتباط ظاهرة التقعر بعمليات استخراج المعادن، قام المختصون بإجراء التجارب والقياسات في منجم من مناجم حوض الدورنباس الفحمي وتبين أن عملية

التقعر قد بدأت بالظهور بعد أن تم استخراج طبقة من الفحم سماكتها متر ونصف وذلك على عمق (500) م. وخلال أربعة أشهر من استغلال المنجم بلغ التقعر (130) مم، وازداد خلال سنة ونصف إلى (953) مم. وهكذا تجاوزت شدة التقعر عشرات الميلليمترات في السنة، بل إنها بلغت (220) مم في الشهر أحيانا. ولوحظ في تشيكوسلوفاكيا في الفترة (1970 - 1961) هبوط في منجم فحمي بمعدل (5 ,1) مم في اليوم. والمهم في الأمر أن عمليات التقعر ترافقها حركات رأسية للقشرة الأرضية وحركات توسع وانكماش أفقية كذلك. ورصدت مثل هذه الحالة في مناجم فحم في ألمانيا الشرقية سابقا. وتبين أنه كلما كانت الطبقات المستخرجة أسمك وأسرع، كانت حركة القشرة الأرضية رأسيا وأفقيا أكثر فعالية(*).

أما في حوض الدونباس الروسي وأحواض ضواحي موسكو فلقد زاد التقعر على المتر نتيجة لاستخراج الفحم من عمق1000 - 300)) م.وبلغ قطر التقعر مئات الكيلومترات. وفي اليابان حيث القياسات مستمرة منذ القرن الماضي في مناجم الفحم بلغ التقعر 2 ,3-54 ,7)م خلال الفترة (1954 - 1897). وتدل الحسابات عليأن خطورة التقعر وحركة الطبقات الصخرية تبدأ بالظهور عندما لا تزيد سماكة الطبقة التي تعلو طبقة المعادن المستخرجة بأكثر من (300) مرة على سماكة هذه الطبقة. وعلينا ألا ننسى كذلك دور الخبث الملقى على سطح الأرض نتيجة لاستخراج الخامات من باطن الأرض في تقعر وهبوط القشرة الأرضية. ونشير إلى أنه في سنة واحدة وفي حوض الدوتباس السوفييتي السابق وحده تم تجمع ما يزيد على (20) مليون طن من الخبث. ولكن يجب أن نوضح أن ظاهرة التقعر في أماكن استخراج المعادن قد ترافقها عمليات رفع للقشرة الأرضية في بعض الأمكنة وذلك بسبب تناقص حجم المواد المستخرجة، الأمر الذي يساعد على صعود القشرة الأرضية نحو الأعلى لتحقيق التوازن القشري الأرضي. ففي حوض محطة نيجنيسيفرسكي الكهربائية ارتفع قاعها بمقدار (7-15) سم. ويلاحظ أن معدل الارتفاع خلال سنة قد تراوح بين (6 و13) مم.

من الأمور التي تؤدي إلى تقعر سطح الأرض وإلى انهيار بعض الأماكن ثقل الأبنية في المدن الكبرى. ففي إطار مدينة موسكو وخلال فترة (1950 -

(*) نيكونوف، المصدر السابق.

1936) بلغ وسطي الانخفاض في مركز المدينة (12) مم. بينما لم يزد في الأطراف على (0,6) مم. ويلاحظ أن الهبوط كبير في الأماكن المكونة من صخور رباعية هشة (رمل، حصى، طين). كما أن وتيرة الهبوط تكون عادة كبيرة في البداية، ولكن مع تزايد انكباس الطبقات الصخرية تزداد صلابتها ويقل هبوطها تدرجيا. ففي مدينة تالين نرى في الفترة (1964 - 1874) أن سرعة الهبوط بلغت كحد أقصى (36) مم في السنة. ولكن الرقم تناقص بعد ذلك ولم يزد على 10 مم فيما بين(1969 - 1968) . علما بأن المنطقة ترتفع سنويا بمقدار (2,5) مم في السنة لذوبان الجليد الذي كان هنا سابقا. إن هبوط وتقعر الجزء الأعلى من القشرة الأرضية تحت وطأة ثقل المدن العملاقة وبسبب استخراج الثورات الباطنية بمقياس كبير لا يتم فقط لأن خللا حدث في توازن القشرة الأرضية (geostatic) ولكن الأمر يرتبط كذلك بل وبدرجة فعالة بتبدلات مستوى عمق المياه الباطنية. فكيف يتم الأمر؟ لقد أبانت القياسات المساحية (الجيوديزية) في منطقة استخراج الفحم في تشيكوسلوفاكيا في الفترة (1964 - 1961) أن سطح الأرض قد هبط بمقدار (5) سم. وعزي الانخفاض لعمليات استخراج الفحم، علما بأن استخراجه قد توقف منذ (70) سنة. ولكن القياسات اللاحقة قد أوضحت أن الهبوط قد توقف بل وشعر ببدء ارتفاع بسيط للمنطقة، ولوحظ أن مستوى الماء الباطني في المنطقة قد ارتفع في المنطقة في نفس الوقت. مما جعل العلماء يربطون بين هاتين الظاهرتين. ففي حوض سيليزيا الفحمي لوحظ أن الخفس في بعض الأماكن قد امتد إلى (20 - 10) كم بعيدا عن مواضع استخراج الفحم. هذه المسافة تتناسب مع بعد جيوب انخفاض مستوى المياه الباطنية نتيجة لهجرها أماكن توضعها في منطقة استخراج الفحم.

لقد لاحظ ولأول مرة هبوط الأرض تحت المدن الكبيرة مختصون من اليابان. وبدأ هبوط مستوى مدينتي طوكيو العاصمة وأوزاكا في عامي (1923 و1935) وبالتوالي. تسارع هبوط المدينتين حتى عام (1961) وبلغ (18) سم في السنة. وفي بعض الحالات ارتفع الخفس إلى (60) سم، كما في مدينة نيفاتا. ويلاحظ أن الهبوط يبلغ أشده في الأماكن المؤلفة من مواد طينية ورملية قليلة التماسك وكبيرة السماكة. وإذا ما أخذنا بعين الاعتبار

أن أكثر المدن الكبيرة اليابانية المعرضة للخفس مدن بحرية كثيفة السكان وتتمركز فوق قواعد صخرية رخوة هشة. اتضح لنا مقدار فعالية الهبوط وآثار ذلك على أحياء المدينة وعلى حدوث الهزات الأرضية. ولقد هجرت مياه باطنية عميقة جدا أماكن توضعها تحت وطأة الضغط المترتب على بناء المباني. وهكذا اجتمعت ظاهرتا ارتفاع قيم الضغط الخارجي وهجرة المياه الباطنية وتدني مستواها لتكونا سببا مهما في ظاهرة غور المدن الكبيرة. وتدل الدراسات المتعاقبة على أن شدة هبوط قيعان المدن اليابانية قد تناقص في الأربعينيات من القرن العشرين لأن عمليات ضخ المياه قد تناقص كثيرا. ولقد عمد في مدينة أوزاكا بناء ما يقارب (190) كم من المصدات البحرية و(80) محطة ضخ مياه. وبعد عام (1961) ونتيجة لبلوغ هبوط بعض المدن اليابانية حدودا خطرة، تم التقليل من كمية المياه المستخرجة من تحت المدن، ونتيجة لذلك تباطأ وتناقص هبوط المدن بل توقف في بعضها.

إن القليل من زوار حديقة لندن العامة المعروفة بهايدبارك يعلم أنه قبل (160) سنة كان المتنزهون آنذاك يتمشون في ردهات الحديقة، التي كان مستواها آنذاك أعلى بمقدار مترين من مستواها الحالي. لقد بلغت المساحة التي تعرضت للانخفاض في إطار مدينة لندن قرابة (2000) كم 2. وتعزى هذه الظاهرة حسب رأي المختصين إلى ظاهرة ضخ وهجرة المياه الباطنية من تحت المدينة. ومنذ عام (1820) هبط مستوى الماء الباطني الارتوازي بمقدار (100)م.

وهكذا نشاهد أن الخفس التدريجي لكثير من المدن الكبيرة إنما يرجع إلى ظاهرة هروب الماء الباطني وتزايد صلابة وانضغاط التشكلات الصخرية التي تحتها، أي إلى ظاهرة تدني مستوى المياه الباطنية بشكل كبير.

لقد ظهرت مشكلة الخفس في المدن والمؤسسات المختلفة وفي أماكن استخراج المعادن والنفط نتيجة لانخفاض مستوى الماء الباطني بسبب عمليات الضخ الكبيرة في ولايتي كاليفورنيا وتكساس في الولايات المتحدة الأمريكية. ففي ولاية تكساس في منطقة استخراج النفط والغاز وبمحاذاة غالفستون بدأ منذ مطلع القرن الحالي استخراج المياه من الصخور الرملية والغضارية التي تصل سماكتها إلى بضع مئات من الأمتار، لذا أظهرت في

المنطقة الشقوق السطحية، كما أن جزءا من شبه جزيرة كاليفورنيا قد انخفض تحت مستوى البحر. ومنذ الأربعينيات من هذا القرن بدأت ظاهرة استخراج النفط العنيفة وبناء المراكز الصناعية العملاقة والموانيء الضخمة، ونتيجة لذلك نجد أن منطقة مدينة رجال الفضاء هيوستون ومنذ عام (1943) أخذت تعاني من استمرار ظاهرة هبوطها. وبلغ حجم الأماكن التي هبطت نتيجة لما ذكرناه قرابة (22٪) من حجم الماء المستخرج من باطن الأرض أو الذي غادر المنطقة خلال عشر سنوات.

ولقد تباين الارتفاع هنا، مما أدى إلى تشقق الطرق وتكسر أنابيب الغاز وأنابيب النقل الأخرى. وفي مناطق مختلفة من ولاية كاليفورنيا أدى ضخ المياه الباطنية من أعماق تزيد على بضع مئات من الأمتار خلال (30 - 20) سنة إلى خفس مقداره (7, 2-5, 4) متر. وبلغت مساحة الأرض الهابطة في الولاية مئات الكيلو مترات المربعة. وتمثل مدينة لونغ بيتش قرب لوس أنجلوس خير مثال.فلقد صرف هناك قرابة (100) مليون دولار في أعمال الصيانة المختلفة لتثبيت الأرض والمنشآت، علما أن الانخفاض هنا قد بلغ (8, 8)م وبلغت حركة القشرة الأرضية (7, 3) م أفقيا. ولقد عانت بشدة أنابيب نقل الغاز والنفط والمياه والسكك الحديدية والجسور وبعض المباني ومئات الآبار التي أخذ منها النفط. ولقد طفت مياه البحر على بعض الأماكن. وفي بعض الأماكن حيث يستخرج النفط من تشكلات صخرية رملية وحصوية وطينية عميقة (1-7, 2 كم) قد تعرضت في الفترة (1934 - 1941) إلى هبوط سنوي مقداره 10 - 5 مم في السنة، ثم ارتفع عام (1952) إلى (70 - 30) سم. لقد أخذت عمليات الهبوط في البداية شكلا أهليلجيا تراوحت أقطاره بين (10 و65) كم، وبلغت الحركة الأفقية للطبقات الصخرية (20 سم) في السنة. ولكن بعد عام (1953) وبعد أن عمد المختصون إلى ضخ الماء في الطبقات الحاوية على النفط تناقصت سرعة الهبوط، ومن ثمة تناقصت مساحة الأماكن الهابطة من (58) كم^2 إلى (8) كم^2، وبخاصة بعد عام (1958). ولقد تم ضخ قرابة (100) ألف طن من الماء في أعماق الأرض. كما لوحظت حركات هبوط في أماكن أخرى كأريزونا وكولورادو ونيفادا، وفي فنزويلا وإيطاليا واليابان. ومثل هذه الظاهرة موجودة بالتأكيد في الدول النفطية العربية. ورصدت ظواهر خفس في دول الاتحاد السوفييتي

كذلك في مناطق استخراج النفط بفعالية وقد احتلت مساحات واسعة نسبيا ويصل طولها إلى عشرات الكيلومترات وبلغ الانخفاض في بعض الأماكن (2,5) م وذلك في الفترة 1912-1962 وبمعدل سنوي 5 - 1 سم في السنة. وفي منطقة غازلي في آسيا الوسطى ازداد الانخفاض بسبب استخراج الغاز من 10 إلى 25 مم في السنة في الفترة

(1964 - 1974). ويجب أن نشير إلى أن المنطقة شهدت العديد من الزلازل العادية والقوية في العقود الأخيرة من القرن الحالي.

من الواضح أن ظاهرة الهبوط في الأماكن المذكورة سابقا تتسبب في حدوث خلل في التوازن الحركي للقشرة الأرضية ويساعد على ذلك وجود الماء في باطن الأرض في أشكاله الثلاثة الصلبة والسائلة والغازية. وأكثر الأماكن استجابة لمثل هذا الخلل تلك التي تتكون من صخور رسوبية هشة. ولكن الأمر يتعلق كذلك بسماكة الطبقات وبمدى غناها بالمياه والسوائل الأخرى ومدى قابلية الصخور للانضغاط وبالطبع كلما استخراج المواد السائلة أكبر كان هبوط مستوى المياه الباطنية أشد، وبالتالي تزداد فعالية الهبوط. ويفسر ذلك بأنه عند سحب المياه من الطبقات الصخرية التي تحتويه يقل الضغط الهيدروليكي في المسام الصخري وتزداد فعالية التوتر في هيكل الصخور وذلك على حساب التوازن القشري للأرض. وبالطبع لوزن الطبقات الصخرية التي تعلو مكان استخراج الماء دور أساسي في إحداث هذا الخلل. لأنه بسبب الضغط المذكور تغلق المسام في الصخور وتزداد صلابتها. بل إن التأثير يمتد حتى إلى الصخور الكتيمة وتدل المعطيات التجريبية على أن انخفاض مستوى الماء الباطني بمقدار (10) م يزيد من ضغط الطبقات الصخرية العليا بمقدار كيلو غرام واحد فوق كل سم^2. وأن العلاقة بين مقدار انخفاض مستوى سطح الأرض ومقدار انخفاض مستوى الماء الباطني يتراوح بين (1/500 و 1/10) وقطر الأماكن الهابطة يتأرجح بين عشرات ومئات الكيلومترات. وبما أن تناقص الضغط في الصخور الحاوية على الماء أقل بكثير من الطبقات الحاوية للنفط. لذا فإن هبوط أماكن استخراج النفط أكبر من أماكن استثمار المياه الباطنية.

لقد انقسم العلماء إلى فريقين: الأول يرى أن تأثير العمليات السابقة في التوازن القشري للأرض لا يمتد أكثر من كيلومتر واحد عمقا، إذ أن

استخراج المواد الخام من الأرض لم يزد عموما على هذا العمق. ولكن الفريق الآخر يرى أن تأثير الإنسان قد امتد أكثر من ذلك بشكل غير مباشر وقد أثر حتى عمق (70 - 30) كم وهذا العمق يكاد يشمل كل القشرة الأرضية القارية. والواقع أن فعالية التأثير تتعلق أساسا بالواقع البنائي للقشرة الأرضية. فإن كانت هذه الأماكن مناطق نشاط زلزالي أو بركاني وكانت غنية بالصدوع والتشققات فإن الآثار تكون كبيرة وعميقة، بينما إن كان العكس هو الصحيح فتأثير الفعالية الإنسانية محدود الشدة والعمق.

إن العاملين في مجالات بناء السدود والمشاريع المائية المختلفة يأخذون عادة بعين الاعتبار حجم ووزن الماء المتجمع وراء السدود والضاغط بشدة على الطبقات الصخرية، كما أن لديهم تقديرات تقريبية مستقبلية عن مدى وشدة الهبوط والتقعر الذي سيطرأ على أماكن وجود أحواض التجمع المائي.

ففي فترة التخطيط لبناء سد ميد (Mid) الواقع على أحد روافد نهر كولورادو في الولايات المتحدة والذي تصل كمية مياهه إلى (35) مليار متر مكعب، قدر أن تقوس القعر سيبلغ (18) سم وسيأخذ شكلا معلفيا ضحلا وأشد الأماكن انخفاضا المركز، وستنتشر مياه السد على شكل ثلاثة أحواض متطاولة يتراوح عرضها بين (1 و20) كم فوق قاعدة صخرية قديمة مؤلفة من صخور رسوبية وبركانية. والآن لنر ماذا حدث بعد بناء السد.

في عام 1935 وفي بداية تجمع المياه وراء السد تم إجراء قياسات تسوية دقيقة بامتداد خطوط متعددة وتخترق كلها مركز المقعر المائي، وصل طولها إلى (1000) كم، وفي عام (1940 - 1941) أعيدت القياسات من جديد. تم التوصل إلى ما يلي : عندما تم ملء 80٪ من حجمالسد وصلت قيم التقعر الأعظمي 12 سم وفي عام (1950) ارتفع التقعر إلى 17 سم ولكنها وصلت عام (1963) إلى (20) سم. ولقد كان وسطي التقعر في بداية خزن المياه بمعدل (20)مم في السنة، ثم هبط إلى (5) ثم إلى 3,2 مم، وذلك بعد أن استقر حجم الماء في حوض السد. لقد كانت مساحة الأرض المتقعرة قرابة 30 ألف كم2. وهذه المساحة أعظم بكثير من مساحة المياه المخزونة وراء السد. وشدة التقعر بالطبع كانت متباينة ضمن هذه المساحة الواسعة، ولكن أعمقها كان قرب منطقة الثقل المائي الأساسي. ومن الطريف أن

نذكر أنه في الجزء الشرقي من منطقة التقعر تعرضت بعض الأماكن للارتفاع وبمقدار (8 - 6) سم وهي أماكن صعود صخور الغرانيت القاسية المصدعة. وهذه الظاهرة إيذان بحدوث خلخلة في قشرة الأرض وإنذار بأن هذه الأماكن ستكون الأكثر استجابة للحركات الزلزالية فيما لو حدثت.

أما بالنسبة لأكبرحوض تجمع مائي في العالم والمتمثل بسد كاريب المقام على نهر زامبيزي في إفريقيا والذي يعادل حجم مائه (150) مليار متر مكعب، فإن التقعر قد بلغ (5, 23) سم وامتد بمقدار (100 - 70) كم بعيدا عن حوض التجمع المائي. ولقد وصل التقعر السنوي في الفترة (1968 - 1959) وذلك بعد ملء السد ببضع سنين إلى (12 - 10) مم في السنة.

ونورد كمثال كذلك سد كراسنايارسك (الاتحاد السوفييتي) الكهرمائي، المقام فوق أرض صلبة غرانيتية وصخور متحولة أخرى قديمة. لقد بلغ طول السد كيلومترا وارتفاعه (120) م، وبعد أن ارتفع مستوى الماء إلى (60) مم ازداد التقعر حدة وفي مطلع (1972) وقرب مركز بحيرة السد وصل التقعر إلى (30) مم سنويا. ولوحظ أن قاع البحيرة قد مال باتجاه (كتلة السد). بعد أن شغل بالماء كاملا، علما بأن الميل سابقا كان باتجاه معاكس.

يجب أن نذكر هنا كذلك أنه في بداية ملء حوض سد براتسكي المقام على نهر انغارا والذي يبلغ طوله (3 700) م وارتفاعه (126) م، كان التقعر السنوي في البدء (8) مم ثم ازداد إلى (6, 36) مم وكان مستوى الماء الباطني الاندفاعي الارتوازي يقع على عمق (70) م.

إذا قارنا حجم الماء في بحيرات السدود وبكلمة أدق الثقل النوعي لعمود الماء فوق وحدة المساحة مع قيم التقعر المقيسة نحصل على ارتباط مباشر بينهم. إذ إنه كلما كان الثقل النوعي أكبر، ازدادت وتيرة تقعر قاع بحيرات السدود. ومثل هذا الارتباط موجود بين سرعة التقعر وواقع الثقل النوعي للماء. ولوحظ أن قيم التقعر قد تتراوح بين بضع ميلليمترات وعشرات السنتمترات في السنة. أما سرعة التقعر فقد تصل إلى (5, 2-1) سم في السنة[*1].

هنالك ثقل اصطناعي إضافي على القشرة الأرضية أوجده الإنسان، ألا وهو بناء المدن الكبيرة والعملاقة. هنا لا نتكلم عن هبوط القشرة الأرضية

(*1) أ. أ. نيكونف، حركة القشرة الأرضية المعاصرة، موسكو 1979.

وطبقات الصخور بسبب انخفاض مستوى الماء الباطني وازدياد انضغاط الصخور فقط، بل إن الأمر يتعلق بخفس محلي قد يتعدى تأثيره الطبقات الصخرية الرسوبية السطحية إلى الطبقات الصخرية المتحولة والغرانيتية الأعمق.

لقد اكتشف مثل هذا الخفس للقشرة الأرضية في ضواحي مدينة موسكو، ومن المعروف سابقا أن الأرض في المدينة تهبط بمعدل (2-1) مم سنويا. ولكن فيما بعد وعند مقارنة قياسات تسوية الأرض للفترتين (1936-1940 و 1950-1958) اكتشف أن الأرض حول المدينة آخذة بالارتفاع وذلك على شكل حلقي وبمعدل (1,8 - 1) مم سنويا. ويبعد الإطار عن مركز التقعر ما بين (10 و30) كم أما خلف نطاق الارتفاع هذا فإن الأمور عادية ومنتظمة.

إن وجود حلقة الارتفاع المذكور يعبر عن ظاهرة التوازن القشري بين مركز المدينة حيث الثقل النوعي الأكبر والضواحي الخالية عمليا من المباني.

إن سبب التقعر والخفس بالطبع سببه الثقل الإضافي الذي أوجده وزن المدن ووزن المياه المخزونة وراء السدود. وبالطبع تتناسب شدة وسرعة التقعر مع حجم المدن ووزن الأبنية المقاومة وحجم المياه في الصدود. ولكن قد يتبادر إلى ذهننا السؤال التالي: على أي أساس يتحقق التقعر؟

هل يعود ذلك لانضغاط الصخور الرسوبية فقط بشكل إضافي، أم أن الأمر يتعدى ذلك ويرتبط بفكر الجزء الأعلى من القشرة الأرضية؟

وبالطبع، إن انضغاط الصخور الرسوبية الهشة الطينية الرملية والحصوية الرباعية العمر، يمكن أن يفسر ظاهرة التقعر.

ولكن كثيرا من بحيرات السدود تتمركز فوق صخور صلبة قاسية متحولة أو بركانية غير قابلة للانضغاط عمليا. ونضيف إلى ذلك أن نطاق الانضغاط الصخري أو ما يسمى بالنطاق الفعال لا يزيد في أحسن حال على بضع مئات من الأمتار. ولكن تشير الدراسات المختلفة إلى أن الاضطراب الصخري في مثل هذه الأماكن لا يقتصر على الطبقات الصخرية الرسوبية العليا فقط، بل يتعداه إلى كامل القشرة الأرضية تقريبا. كما أن التأثيرات الأفقية للتقعر قد تمتد عشرات وأحيانا مئات الكيلومترات أفقيا بعيدا عن مركز التقعر الأكبر. وكثيرا ما ترصد هنا بؤر زلزالية غير عميقة (بضع كيلومترات

من السطح). وفي مناطق السدود العملاقة تظهر على بعد عشرات الكيلومترات منها مؤشرات حركية للقشرة الأرضية، عبر الانكسارات والصدوع وكثيرا ما تشاهد هنا بؤر زلزالية قد أيقظت من سباتها.

زلازل مثارة

في شهر أغسطس من عام (1975) عانى وخاف سكان مدينة أورفيل الصغيرة والتي لا يزيد عدد سكان على 20. ألف نسمة من زلزال شدته سبع نقاط، والمدينة تقع في شمال ولاية كاليفورنيا الأمريكية، وهذه الولاية تشهد ما لا يقل عن (300) هزة أرضية في السنة. يبدو مما ذكر أن زلزالا مقداره (6 - 7, 5) درجات حسب ريختر ليس بالمهم. كما أنه لم يتسبب في موت أكثر من 12 شخصا وهو رقم متواضع جدا بالنسبة للزلازل. ومع ذلك لقد بعث هذا الزلزال الهلع في قلوب مختصي الزلازل والمهندسين. ومرد الهلع إلى أنه قبل سبع سنين من هذا التاريخ تم بناء سد من أكبر سدود الولايات المتحدة الأمريكية والذي وصل ارتفاعه إلى (235) م.

ولقد حجز وراءه (4, 4) كم3 من الماء. والسؤال الذي طرح نفسه والذي اختلف العلماء في الإجابة عنه إلى الآن، هل كان حدوث الزلزال أمرا طبيعيا لا دخل للإنسان فيه، أم أنه كان نتيجة لبناء السد، الذي كان سببا في حدوث ظاهرة التقعر والخفس في المنطقة وفي اختلاف قيم الضغط المائي في مسام الصخور الواقعة تحت كتلة الماء.

لقد كانت بؤرة الزلزال السطحية تبعد قرابة (11) كم عن السد وكان عمقها (8) كم. ولقد حدث الزلزال بعد سبع سنين من بناء السد وبعد (6) سنوات من بدء ارتفاع الماء فيه. وتبين كذلك أن الزلزال قد أعاد الحياة لصدع قديم قد عفى عليه الزمن ويبلغ طوله (3, 8) كم وتحرك الصدع شاقوليا بمقداره سم وسطيا. وفي بعض الأماكن ارتفع الرقم إلى (13) سم.

لاحظ العلماء أن الزلزال هذا يختلف في خصائصه عن زلازل ولاية كاليفورنيا وبخاصة فيما يتعلق بتكرارية ومقدار الهزات الرادفة وبديمومة التأرجحات الموجية القوية، وسوى ذلك من خصائص. لقد بدأت الهزات الأرضية الخفيفة بالظهور بعد امتلاء السد بالماء مباشرة، وبخاصة في أربعة الأشهر التي سبقت الزلزال المذكورة.

ولوحظ في هذه الفترة أن خزن الماء في بحيرة السد قد تم بسرعة فائقة وبلغ أعظم ارتفاع له أي (45) م في (24) يونيو وفي (26) منه حدثت الهزة الأولى.

أما موقع البؤرة الباطنية بالنسبة لمركز الثقل النوعي للماء (فإنه حسب رأى المختصين لايسمح لنا بالقول إن سبب الهزة إنما يعود إلى التعبير المباشر لوزن الماء وضغطه على قاع السد، ولكن هذا الاستنتاج لا ينفي دور الماء في تغيير قيم الضغط المائي في مسام وشقوق الصخور في مكان السد والجوار.

لنرجع إلى الوراء قليلا وإلى أحداث مماثلة كان سبب بعث الزلازل فيها يرتبط بملء بحيرات السدود بالماء، ففي سنة (1935) وعلى الحدود بين ولايتي نيفادا وأريزونا كان قد تم بناء أعظم سد عرفه ذلك الزمان. إنه سد هوير القوسي، الذي أقيم على نهر كولورادو. لقد بدىء بملء بحيرة السد في شهر سبتمبر من السنة التالية وعندما بلغ ارتفاع الماء (100) م ظهرت الهزات الأرضية. علما أن الزلازل غير معهودة في منطقة السد، ولا توجد هناك محطات رصد زلزالية. ولكن فيما بعد بنيت ثلاث محطات زلزالية ووسعت تدريجيا شبكة الرصد الزلزالية هنا. ولقد بلغ عدد الهزات الآلاف في الفترة 1947 - 1937) وأكثرها سطحي البؤر ولا تزيد أعماقها على (8 - 6) كم. وفي عام 1939 شغل السد بالماء كاملا وبلغ حجم الماء (35) مليار م3، وفي 4 مايو من نفس السنة حدثت هزة متوسطة المقدار (5) حسب ريختر. وحررت طاقة حركية عادلت في قوتها كل الطاقة المحررة سابقا من الهزات الأرضية الضعيفة. لقد أبانت الأبحاث اللاحقة الارتباط الوثيق بين كمية الطاقة المحررة وبلوغ الثقل المائي النوعي في الفترة (1939 - 1938). ومنذ عام (1951) تذبذب مستوى ماء السد وأخذ طابعا فصليا. ونتيجة لبناء سدود في المجرى الأعلى من النهر اختفت الهزات الأرضية عمليا ولم تعد هنالك صلة بين كمية ارتفاع المياه وحدوث الزلازل. ونتيجة لما ذكرناه أقام الأمريكيون شبكات رصد زلزالية عند كل السدود تقريبا، ولم تلاحظ سوى هزات ضعيفة جدا. ومن (68) سدا أقامه الأمريكيون في مختلف أنحاء أمريكا وجد أن عشرة منها قد أدى إلى بعض الهزات الأرضية.

بدأ في سنة 1961 تجمع المياه في بحيرة سد نهر كوينا في الهند وكان

ارتفاع السد (103) م وحجم مائه (2780) مليون م3. ولقد بني فوق قاعدة قديمة ذات صخور متحولة وباطنية اندفاعية صلبة. أي أن الظروف ليست هنا مهيأة لحدوث الزلازل. ولكن في11 ديسمبر من عام (1967) حدث زلزال قوى مقداره (3, 6) حسب ريختر وشدته (9 - 8) نقاط، ولقد تسبب في هلاك (180) شخصا وجرح (2300) إنسان مع خراب وأضرار جسيمة في المباني والممتلكات، ولقد تضرر السد نفسه من الزلزال.

وكانت بؤرة الزلزال سطحية وتبعد حوالي (3 - 2) كم جنوب السد. ولكن امتد تأثيره بعيدا وبقطر يصل إلى (700) كم، بينما بلغت مساحة ماء السد قرابة (150) كم^2.

وبعد الزلزلة هذه كثرت الهزات الرادفة وبلغ مقدار بعضها (4, 5 - 5) درجة. ولوحظ أن الزلازل قد بدأت بالظهور بعد أن غمر نصف السد بالماء. ومع تزايد حجم الماء ازدادت تكرارية الزلازل وقوتها بآن واحد. وفي نفس الوقت وقعت هزة أرضية عنيفة قرب سد سينيفينكان (Senefincan) في الصين (1962). وكان مقدارها 1, 6 حسب ريختر، وحدث زلزال آخر في سنة (1963) قرب سد كاريب المقام على نهر الزامبيزي في إفريقيا وبنفس المقدار السابق. كما جرى زلزال في سنة (1966) عند سد كريماستا في اليونان وبمقدار (2, 6). ولوحظ هنا أن ستا من الهزات فاقت مقاديرها الخمس وفي 12 منها كانت أقل.

لقد ظهرت هزات كثيرة قرب السدود في كثير من بلدان العالم وذلك كما في فرنسا وإسبانيا والسويد وإيطاليا ويوغوسلافيا والجزائر ومصر وكندا واليابان... الخ. ولقد رصد كثير من العلماء مثل هذا الارتباط بين السدود وحدود الزلازل. ومنهم عالم الزلازل الفرنسي ج. روتي والسوفييتي أ. ف. كيسين ونيكولايف وسواهم.

لقد لوحظ مثل هذا العيث الزلزالي ليس في مناطق النشاط الزلزالي والبركاني فقط، بل وفي مناطق القواعد القارية القديمة الهادئة زلزاليا عادة. وهذا النوع من الزلازل محلي وسطحي الطابع ويتمركز حول أماكن انتشار الصدوع. ولوحظ أن أبعاد البؤر الزلزالية عن السدود تتراوح بين (10 و15) كم عادة. ويلاحظ أن فعالية الزلازل تزداد بعد ارتفاع المياه وراء السدود بمقدار مئة متر وأكثر، ولكن هذا لا يمنع ظهور هزات أرضية

نتيجة لارتفاع المياه ارتفاعا أقل من ذلك بكثير أي بحدود (40 - 30) م. إن تكرارية الزلازل في الغالب بسرعة ومقدار تناقص مستوى الماء. إذ إنه في نفس قيم الضغط النوعي لعمود الماء نرى أن إمكان حدوث الهزات الأرضية يكون أكبر كلما كانت مساحة أحواض التجمع المائي (بحيرات السدود) واسعة، وبالتالي فإن مساحة تأثيرها تزداد.

كثيرا ما يتميز نظام الزلازل المحرضة بطابعه الاستفزازي ويتجلى هذا الأمر في تزايد تكرارية الزلازل وتزايد قيم مقاديرها مع تزايد ارتفاع وكميات المياه وراء السد. ويستمر هذا التصعد حتى يبلغ الامتلاء المائي حده الأعظمي. ثم نرى بعد ذلك تناقصا في تكرارية وشدة الزلازل إلى أن تهدأ الهزات تماما.

تستمر هذه الفترة ما بين (8 - 6) سنوات وسطيا وبلغ أحيانا (15 - 12) سنة. وفي الاتحاد السوفييتي الحالي تمت دراسة الظواهر الزلزالية بعد بناء سد على نهار فاخش في جمهورية طاجيكستان المشهورة بزلازلها.

ومع بداية تجمع المياه في بحيرة السد قام العلماء بمراقبة واعية للمؤشرات الزلزالية واستمر البحث قرابة 12 سنة. ودرسوا هذه الظاهرة في فترة الارتفاع الأعظمي للماء سنة (1972)، ولوحظ أن مظاهر الزلازل أخذت المنحى التالي:

منذ عام (1967) أخذت تتزايد تكرارية حدوث الزلازل وبلغت التكرارية قمتها عام (1972). وفي سنة (1967) ارتفع مستوى الماء وراء السد إلى 40 م، وبلغ عام (1972) مئة متر. وفي فترة (1973 - 1972) وجد أن عمق البؤر الزلزالية اقترب أكثر من السطح الخارجي. وكأننا أمام صعود بؤر الزلازل أكثر فأكثر نحو وجه الأرض. وبالواقع أن 95٪ من الزلازل في المنطقة لم يزد عمق بؤرها على 5 كم، كما لوحظ أن أماكن تجمع الزلازل كان قريبا من السد. ولكن في فترة التجمع السريع للماء في بحيرة السد تحركت مراكز البؤر تبعا لتبدل أماكن مراكز الثقل النوعي لعمود الماء في البحيرة.

أما المرحلة الثانية من فترة امتلاء السد بفعالية كبيرة، فلقد بدأت في شهر أغسطس من عام (1976)، ولقد رافق ذلك تزايد واضح في عدد الهزات الأرضية.

وهكذا نجد في منطقة نوريك حيث أقيم السد أن اشتداد ظاهرة الفعالية

الزلزالية قد ارتبط بلا شك بظاهرة امتلاء السد بالمياه، ولا تزال إلى الآن الهزات الأرضية الضعيفة ترصد قرب السد.

إن ما ذكرناه آنفا لا يعني بالضرورة مرافقة الهزات الأرضية مع تزايد ارتفاع الماء في بحيرات السدود. إذ إن كثيرا من السدود وبعضها كبير مثل سدود كويبشيف وتسيمليانسك وبراتسكي وكراسنايارك في الاتحاد السوفييتي السابق تشهد هزات أرضية، ولوحظ مثل هذا الأمر في سد بهاكرا في الهند والذي يصل ارتفاعه (225) م ومثل ذلك في كندا والولايات المتحدة الأمريكية وعليه، يمكن أن نقول إنه لظهور الزلازل في مناطق بناء السدود، لابد من توافر شروط طبيعية مناسبة مؤهلة لظهور الزلازل. لذا على الإنسان أن يحسن اختيار مواقع السدود وأن يقدر سلفا ماذا يمكن أن يترتب فيما لو حدث زلزال وبخاصة القوي منها.

يجب أن نشير إلى أنه حتى مطلع السبعينات من هذا القرن تم رصد (35) حادثة تزايد النشاط الاهتزازي نتيجة لملء بحيرات السدود حتى الحدود القصوى. مع أن هذا الرقم لا يشكل أكثر من ثمن مجموع السدود المهمة في العالم. ولكن لا يمكن غض النظر عن مثل هذه الظواهر ولو بدت إحصائيا بسيطة النسب وإذا ما علمنا أنه حتى نهاية القرن العشرين سيبنى أكثر من (135) سدا كبيرا، والعديد منها مهدد بالزلازل.

لقد جرت محاولات حثيثة لتفسير ظاهرة انبعاث أو تجدد النشاط الزلزالي في مناطق بحيرات السدود، ولا تزال في طور الفرضيات. ولكي نتفهم هذه المسألة بشكل أفضل علينا أن ننظر إلى عمليات أخرى أدت إلى تجدد أو انبعاث النشاط الزلزالي في القشرة الأرضية السطحية على الأقل. ولعلنا نجد في التفجيرات النووية الباطنية ضالتنا.

يمكن القول في الواقع إن التفجيرات النووية الباطنية تمثل زلزالا اصطناعيا وخير مثال عنها ما تقول به الولايات المتحدة الأميركية من تفجيرات باطنية في ولاية نيفادا. فواحد من كل ثمانية تفجيرات تصل قوتها إلى (0 و1-2 ,1) مليون طن، وهذه تعادل زلزالا مقداره (6 - 5) درجات حسب ريختر. وتؤثر بذلك على الصدوع القريبة من منطقة الانفجارات النووية وتتسبب في تجدد النشاط البنائي والزلزالي. وتتحرك تبعا لذلك شفاه الصدوع من (40 - 30) سم إلى أكثر من متر وترافق ذلك حركة رأسية

للصدع قد تصل إلى 15 سم. وهذه الحركات اتخذت نفس مسار حركات الصدوع سابقا وليست مسارات جديدة. وتراوح امتداد هذه الحركات ما بين مئات الأمتار وبضعة كيلومترات، ولكنها لم تزد على (8) كيلو مترات حتى الآن، وبالطبع كلما كان التفجير قويا ازداد طول المنطقة المتحركة في الصدع. كما هي الحال في الطبيعة، إذ تتناسب مع شدة مقدار الزلازل.

إن زلزالا اصطناعيا جري عام (1968) نتيجة لتفجير نووي باطني في صحراء نيفادا الأمريكية مقداره (1 , 1) مليون طن، قد تم رصده جيدا وامتد تأثيره إلى عمق (1400) م، كما أن تأثيره قد امتد بقطر بلغ 450 كم فوق سطح الأرض. ولقد استعادت كثير من الصدوع نشاطها وبقطر يصل إلى (6 - 5) كم من مركز التفجير. وحسب المعطيات الجيولوجية كان نشاط هذه الصدوع قد توقف منذ بضعة ملايين من السنين. وتلا التفجير هذا آلاف الهزات الأرضية الرادفة والتي بلغ مقدار بعضها (2 , 4) درجة واستمرت على مدى عدة شهور.

لقد تم رصد ثلاث هزات أرضية ضعيفة قبل التفجير[(2*)] بأسبوعين، وبعد التفجير بيوم واحد بلغ عددها أكثر من ألف، وبعد أسبوعين هبطت إلى (15) هزة في اليوم، وتأرجح عددها فيما بعد ولمدة ثلاثة شهور، ولكن عددها لم يزد على عددها قبل التفجير. وتجمعت بؤر الزلازل المنبعثة مع امتداد الصدوع ولكن ليس بعيدا عن مركز التفجير، وببعد 13 - 6 كم عن المركز، وأوضحت الدراسات المختلفة على الأمواج الاهتزازية السطحية والباطنة أن حركة دفع طولية وأخرى رأسية لوحظت في الصدوع الميتة سابقا. وكان الاتجاه العام لحركتها الأفقية شمال شرق، جنوب غرب. ولقد رصدت مثل هذه الظواهر مرات عديدة أثناء حدوث التفجيرات القوية. وكان أقصى بعد بلغه تأثيرها لا يزيد على (40 - 20) كم من بؤرة التفجير.

من الضروري كذلك أن نستعرض ضربا آخر من ضروب إحياء الفعالية الزلزالية. إلا أنه استخرج السوائل (الماء، النفط... الخ) من أعماق الأرض.

لقد ساعدت مراقبة عمليات استخراج السوائل المختلفة من باطن الأرض إلى التعرف على بعض العوامل التي ساعدت على بعث الزلازل وتجدد حركة القشرة الأرضية في مثل هذه المواضع ولعل من أبرز هذه العوامل

(2*) Bolt B.A. Nuclear Explosion AHd Earthguakes. San Francisco. 1976

التالية.

1-تغير الظروف الهيدروستاتية (التوازن المائي، والهيدروديناميكية (حركة الماء) في أعماق الأرض نتيجة لتعمق مستوى السوائل واستخراجها.

2- استخراج المواد الصلبة من باطن الأرض.

3-تباين توزع أماكن الثقل على سطح الأرض نتيجة لبناء السدود الضخمة والمدن وإحداث الحفر الواسعة والانهدامات الشاسعة الامتداد.

4-تأثير الانفجارات الشديدة على القشرة الأرضية.

إن تسمية وتحديد العوامل لا يعني بالضرورة تحديد أسباب بعث الزلازل، ومع ذلك يمكن القول إن تفسير الحركات الزلزالية المنبعثة، إنما يكمن في الثقل الإضافي الواقع على القشرة الأرضية الخارجية، كما في بحيرات السدود. ولكن وكما أشرنا سابقا أن الارتباط بين ثقل ماء السدود وبعث الزلازل ليس بهذه البساطة وليس له مدلول واحد دائما، لأن ولادة الزلازل ليس سببه إنشاء السدود فقط، بل هنالك عوامل طبيعية ونشاطات إنسانية أخرى سطحية وباطنية لها دور في تجدد الهزات الأرضية وتحرك القشرة الأرضية.

ويمكن القول، إن العلماء حاليا تمكنوا من تحديد المعالم الأولية للأسباب المحتملة لبعث الزلازل وتحرك القشرة الأرضية. ولعله من الأفضل أن نحددها بما يلي:

1-تأثير الثقل الإضافي في مواضع محددة كتأثير الكتل المائية في السدود على ظروف التوازن المائي والصخري في القشرة الأرضية.

2-تزايد ضغط مياه المسام والشقوق في باطن الأرض، الأمر الذي يقلل من شدة الاحتكاك الصخري في أماكن التشققات والصدوع ويساعد على تحريك الكتل الصخرية عبر الشقوق والصدوع في حال حدوث الهزات الأرضية.

3-تتزايد نسبة التشقق في وحدة المساحة، مما يضعف تماسك ومقاومة الصخور للمؤشرات الحركية الخارجية ولمظاهر تزايد ضغط مياه المسام والشقوق (وبخاصة عند حقن الصخور بالسوائل).

4-تناقص مقاومة الصخور تحت تأثير ثقل الطبقات الصخرية العليا التي تدفع بالمياه بقوة داخل المسام والشقوق.

يميل أكثر العلماء الآن إلى القول بأن سبب آلية بعث الزلازل، إنما يكمن في إعادة توزيع وتبدل قيم ضغط مياه الشقوق والمسام في أعماق الأرض.

ويتصور العالم الروسي أ.غ. كيسين عملية بعث الزلازل كالتالي: يتزايد نتيجة للأعمال الإنشائية الهندسية ضغط مياه، المسام والشقوق[*3]، وذلك في منطقة نشوء البؤر الزلزالية المستقبلية وتتناقص في نفس الوقت المقاومة الاحتكاكية للصخور تحت تأثير عمليات التشقق، وعندما تبلغ قوة الضغط هذه حدودها القصوى الحرجة تبدأ الصخور بالأنشطار والانفلاق. ومما يساعد على نمو وتطور وتكاثر الشقوق كذلك ظاهرة امتصاص مياه المسام الموجودة في الكتل الصخرية. ونتيجة لهذا الواقع تظهر تشققات ذات اتجاهات محددة ويزداد دور التوتر الداخلي للصخور في عملية التهشم الدقيق للصخور، وبخاصة في الأماكن ذات التماسك الجيد. وهكذا تأخذ مساحة الأماكن الضعيفة تماسكا وارتباطا بالتوسع، ولكن في نفس الوقت يجب أن تزداد قوة احتكاك الزحزحة الصخرية، ولكن وجود مياه المسام والشقوق يعرقل ذلك ويقلل من قوة الاحتكاك في سطوح الدفع والزحزحة. ومع تزايد ضغط المياه والسوائل عامة يزداد التوتر الصخري شدة في أماكن الزحزحة الصخرية وبخاصة في الأماكن التي لاتزال محتفظة بتماسكها النسبي. وتحت تأثير الضغط المتنامي للسوائل تحدث صدوع وتشققات فردية كبيرة نسبيا ويعبر عنها بالهزات الطلائعية الخفيفة عادة والتي تسبق الهزة الأساسية.

وهكذا نرى أن شدة توتر الانفلاق والتهشم الصخري تبلغ حدودها الحرجة القصوى وتصبح الظروف فهيأة لتشكل البؤرة الزلزالية وحدود الزلزلة الكبرى. ويبرز الآن سؤال لماذا لا ترى الزلازل المثارة في كل الأماكن التي تشهد تأثيرا إنسانيا مشابها. والإجابة عن ذلك تكمن في حقيقة مفادها أن ظروف التوتر الطبيعي في باطن الأرض والملازمة لبعث الزلازل وحدوث التشققات ليست موجودة بشكل متماثل في كل الأماكن من القشرة الأرضية. فبالنسبة للمناطق ذات النشاط البنائي الفعال أو المناطق التي تتجمع فيها التوترات البنائية فترة طويلة، حيث الزلازل موجودة في حالة

(*3) ا.غ كيسين. عن مشكلة الزلازل المثارة بوساطة الفعاليات البشرية الهندسية، مجلة الجيولوجيا الحديثة، عدد 1972-2.

كمون. نرى أن الثقل أو الوزن الإضافي يؤدي إلى خلل في توازن القشرة الأرضية محليا، الأمر الذي قد يؤدي إلى بعث الزلازل أو تجددها.

ومما يسهل ظهور الفعاليات الزلزالية المثارة وجود الصخور القاسية المتبلورة (الغرانيت) المصدعة بشكل كبير ويساعد كذلك على هذا الأمر تجاور الصخور ذات الصلابة المتفاوتة.

لنقارن بين فعالية العمليات الزلزالية الطبيعية والإنسانية المثارة، وذلك في أماكن استخراج المواد السائلة من باطن الأرض. ومن أجل ذلك سنستعمل مؤشرين: القيمة العظمى لسرعة الخفس وغراديان (تدرج) السرعة (شدة الخفس). ويعتبر الغراديان مقياسا لتباين سرعة حركة القشرة الأرضية في أماكن الزلازل.

من الملاحظ أن قيمة السرعة والغراديان في مناطق الحركات الأرضية المثارة أكبر بعدة مراتب (قوة) من قيم الحركات المعاصرة الطبيعية للأرض، وذلك في نفس الأماكن والمساحات. إن سرعة تقعر سطح الأرض والطبقات الرسوبية التي تعلوها في أماكن استخراج السوائل تعادل عشرات السنتيمترات وقد تبلغ الأمتار (10 - 3) م. ويختلف امتداد هذه الحركة عرضانيا حسب شدة الحركة من بضعة إلى عشرات الكيلو مترات. وقد يصل قطرها أحيانا إلى (1000) كم وذلك في حالة بحيرات السدود العملاقة. أما العمق الذي تصل إليه فعالية العمليات المثيرة للحركات الأرضية والزلزالية فيمكن أن نقارنه بمقدار الامتداد الأفقي لظاهرة التوتر الصخري الذي تحدثه عمليات استخراج السوائل أو سواها من عمليات. وكقاعدة عامة نجد أن عمق الزلازل المثارة قد يصل إلى عدة كيلومترات.

أي أنه يبقى ضمن الجزء الأعلى من القشرة الأرضية. ولكن هذا لا يمنع من أن تتغلغل عميقا في باطن الأرض وذلك في حالات خاصة إذ يمتد تأثيرها عمقا عشرات. أما شدة وفعالية الحركات المثارة فإنها تفوق مكانيا عادة الحركات الطبيعية. وتعادل سرعة الخدمات المثارة عشرات الميلليمترات في السنة عادة. علما بأنه كما تقول الجيولوجية الهندسية فإن سرعة تزيد عن ملم واحد في المنشآت الهندسية الضخمة تعتبر مؤشرا خطيرا. وكما شاهدنا عند ملء بحيرات السدود أن قيم التقعر غير كبيرة نسبيا.

أية أهمية يمكن أن يأخذها تقعر لسطح الأرض مقداره (30 - 10)سم؟

في الواقع، وفي كثير من ظروف إقامة السدود الكبيرة مثل هذا الرقم قد يكون أمرا طبيعيا ولا خطر منه. ولكن لا يمثل هذا الواقع قاعدة عامة تطبق في كل مكان. بل لعل العكس هو الصحيح. ولنأخذ كمثال أعظم سدين في آسيا الوسطى في الاتحاد السوفييتي السابق حيث تكثر الزلازل .. الأول مقام على نهر نارين والثاني على نها فاخش (Vakhsh). دلت التقارير الأولية أن الأرض قد تقعرت في منطقتيهما بمقدار (25 - 20) سم. ويجب أن نذكر هنا أن مثل هذا التقعر لو حدث تدريجيا وبانتظام وفي ظروف طبيعية عادية لا ظروف إثارة لما ترتب شيء محسوس على هذا الأمر. ولكن الواقع الطبيعي هنا غير ما ذكرناه. فالأرض هنا نشطة بنائيا وهي مهشمة بالصدوع إلى قطع صخرية متجاورة مختلفة المساحة، لذا فإن إثارة أي صدع من هذه الصدوع أو الفوالق بواسطة الثقل الإضافي (ثقل المياه في السدود)، أو بواسطة تعمق الرطوبة عميقا، يمكن أن يحمل أو يوجد الظروف المناسبة الخطرة على المنشآت الهندسية ومن ضمنها السدود. وقد تتسبب في كوارث حقيقية. فحركة الكتل الصخرية بامتداد الشقوق في أماكن ملاصقة للسد كما حدث في سنة 1967 كادت أن تؤدي إلى حدوث كارثة حقيقية تتمثل في انهيار السد، وذلك في أحد السدود المقامة على نهار كابول في أفغانستان، ولولا إعادة سد الشق الذي حدث في السد لتم تدميره. وهنالك مثال آخر هو بحر نوريكس (المقصود هنا بحيرة) على نهر فاخش في طاجيكستان. تزداد البحيرة عمقا مع الزمن بسبب التقعر، الأمر الذي يخشى منه مستقبلا. وهذا الأمر سيؤدي إلى ميل مضاد في قاعة البحيرة، مما سيغير من اتجاه المياه في الأنفاق المقامة هناك وماذا سينجم عن هذا الأمر؟... قد يكون كارثة حقيقية.

هنالك عواقب وخيمة خطرة يمكن أن تترتب على ظاهرة تقعر وخفس الأرض، بسبب إقامة السدود الضخمة وبخاصة في البلدان السهلية ذات المناخ الرطب. فمثلا يقدر الخبراء الروس أنه لو تم إنشاء سد نيجينوء بسك لظهرت بحيرة واسعة أطلق عليها اسم بحر نجينوء بسك، ولأدى وجودها إلى ظهور مستنقعات وأراض مرزغية واسعة جدا. وذلك لأن المياه الباطنية قريبة هنا من السطح الخارجي. وستغمر هنم مناطق شاسعة

غنية بالنفط والغاز (سيبيريا) ومعادن أخرى، وبالطبع بسبب تقعر الأرض، ووزن الماء. ومن هنا يعطي العلماء أهمية خاصة لظاهرة تقعر الأرض بسبب حجز المياه وراء السدود، وما قد ينجم عن ذلك من مشاكل.

إذا ما كانت حركة القشرة الأرضية متزنة ولا تزيد على بضع ميلليمترات في السنة، فالأمر لا يمثل خطورة محسوسة على المنشآت الهندسية، ولكن الأمر يختلف بالنسبة لمنشآت أخرى هندسية كالمفاعلات والمسرعات النووية والليزرية. فقياسات الحركة ليس بالميلليمترات بل بالميكرونات (الميكرون: جزء من الألف من الميلليمتر) ومن هنا تتجلى أبعاد الخطورة في ظاهرة التقعر مهما كانت بسيطة. من الخطأ كذلك ألا نأخذ بالحسبان الحركات المثارة في امتداها المساحي. إذ تحتل حاليا بحيرات السدود قرابة 800 ألف كم2 في والمدن أكثر من 3 ملايين كم2 العالم مما يعادل (2,6) من مساحة اليابسة. ويستخرج عالميا سنويا أكثر من (100) مليون طن من المواد الخام. وتشير الإحصائيات إلى أن استخراج المواد الخام من الأرض في تزايد مستمر، وبما لا يقل عن (4,6) ضعف كل سنة. وتخبرنا التوقعات أنه في نهاية القرن ستعادل مساحة الأرض المشغولة بالمياه والمستخرج منها المواد الخام قرابة (15 - 10٪) من مساحة اليابسة أو ما يزيد على (30 - 20) مليون كم^2، أي قرابة مساحة افريقيا.

وهذا الرقم يشير إلى أن مساحات واسعة من الأرض ستكون مرشحة لتأثير الفعاليات البشرية ومهيأة لظهور الحركات في القشرة الأرضية وظهور الزلازل. ومع الأسف أن مثل هذه الأماكن مكتظة بالسكان، ومن هنا تتجلى خطورة مثل هذه الحركات، ويكفي حدوث زلازل طبيعية أو مثارة متوسطة مقاديرها (8,6 - 5) حسب ريختر تمثل خطورة حقيقية على السدود والمباني المختلفة، لأنها ستؤدي إلى ظهور صدوع وتشققات في الجزء الأعلى من الأرض وسيرافق ذلك تحرك صخري نشط.

يجب أن ننبه بالنسبة للزلازل المثارة بشكل خاص إلى خطر التفجيرات النووية الباطنية. إذ يصل مقادير أقواها إلى

(8,6 - 5)[(*4)] درجة. ومثل هذه الزلازل تسبب أضرارا جسيمة في المدن والقرى كما هي الحال بالنسبة للزلازل الطبيعية، وخير دليل زلزال

(*4) بولت، المصدر السابق

مدينة طشقند (1966) الذي لم يزد مقداره على الرقم السابق.

كثيرا ما أدت التفجيرات النووية إلى حدوث شقوق كبيرة قد يصل مداها إلى بضع كيلومترات، وكثيرا ما تكون الصدوع جديدة إضافة إلى المتجددة منها. وخير مثال ما يجري في صحراء نيفادا في الولايات المتحدة الأمريكية حيث تجرى التجارب النووية. ومن الملاحظ أن استعمال التفجيرات النووية في الأغراض السلمية في تزايد مستمر، كإنشاء حفر واسعة أو أماكن لإقامة السدود أو لتفتيت الخامات المعدنية القاسية... الخ. وإن القيام بمثل هذه الأعمال في مناطق النشاط الزلزالي والبركاني أمر في غاية الحساسية. كما في حوض البحر الأبيض المتوسط والبحر الأحمر وغرب القارة الأمريكية وشرق آسيا.

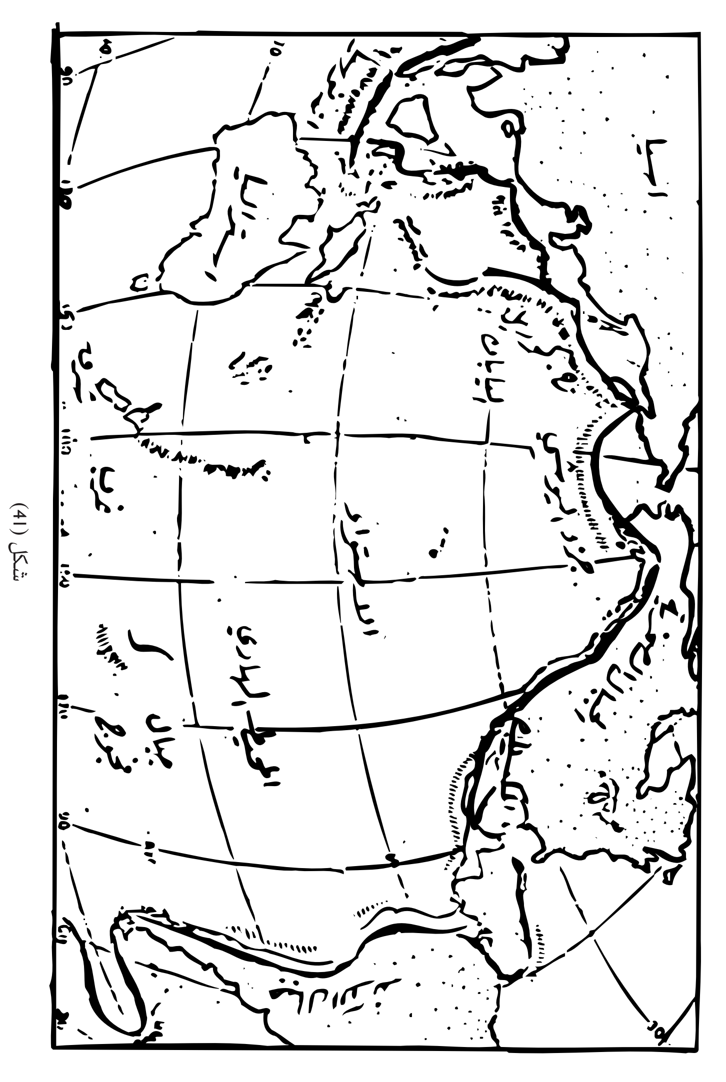
لقد قام البحاثة م.ف. غروفسكي بمقارنة طاقة العمليات البنائية الطويلة الأمد وطاقة الزلازل القوية مع الطاقة التي أنتجتها يد الإنسان. ولتقدير ذلك أخذ مساحة من الأرض سعتها (1000) كم2 أي (33 \33) كم2 في أماكن مختلفة بنائيا. وهذه المساحة تعادل مساحة المدن العالمية الكبيرة ومساحة المناجم الضخمة ومساحة البؤر الزلزالية القوية. لقد باتت حساباته أنه في مثل هذه المساحة من المناطق الهادئة زلزاليا تطلق طاقة تعادل (210) كيلو واط، بينما نراها ترتفع إلى (610)ك.واط في مناطق النشاط البنائي. ويجب أن نشير إلى أن وسطي الطاقة المحررة في حالات الزلازل القوية تتراوح بين [$(10)^{8}$ و$(10)^{14}$] ك. واط وبمقارنة بسيطة مع الطاقة التي تصدرها المحطات الكهربائية الحديثة والتي تبلغ

$(10)^{7}$ ك. واط نرى الطاقة الهائلة التي يطلقها الإنسان. ومن هنا أضحى الإنسان عامل إثارة زلزاليا حقيقيا. وان دوره في تزايد وتنامي. وهذا ما يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار مستقبلا، فقد يكون عامل هدم لحضارته... وبحسن نية.

15 الزلازل في خارطة العالم

لو ألقينا نظرة إلى خارطة العالم الزلزالية (شكل 41، 13) لرأينا حزامين(*) زلزاليين رئيسيين وعدداً من الأحزمة الثانوية. إن أعظم هذه الأحزمة الحزام الذي يحيط بشواطىء المحيط الهادي وهو المعروف بنطاق أو حزام النار، والذي يكاد يحيط بكل السواحل الشرقية والغربية لهذا المحيط. ومن الملاحظ أنه مؤلف من سلاسل جبلية متصلة ترافقها فجوج محيطية سحيقة العمق. وتتمركز في الجبال خاصة غرب القارة الأمريكية. إلا أنها في شرق القارة الآسيوية تتجمع بشكل أساسي في مناطق الأقاليم البنائية الانتقالية (جيوسينكلينال) والممثلة بالجزر القوسية كجزر الأليوشي في شمال المحيط ثم جزر كوريل واليابان والفيليبين وأندونسيا. يطلق حزام النار المذكور قراره 90٪ من الطاقة الزلزالية في العالم. أما النطاق الزلزالي الرئيسي الآخر والأقل عظمة من الأول فإنه يتمثل بالنطاق الممتد ما بين المحيطين الأطلسي والهادي والمعروف باسم نطاق البحر الأبيض المتوسط الآسيوي. ويبدأ من جزر الأزور في المحيط الأطلسي ثم يعبر البحر المتوسط ويمر بتركيا وإيران

(*) ياكوشفا، المصدر السابق 1988.



شكل (41)

انتشار المناطق الزلزالية والبركانية حول المحيط الهادي (طوق النار).

والقفقاس وهيمالايا وبورما وأندونيسيا وغينيا الجديدة وهنا يلتقي مع حزام الحيط الهادي.

يتفرع من هذا النطاق نطاق أصغر نشط هو نطاق البحر الأحمر ويمتد إلى مشرق أفريقيا وجنوب شبه الجزيرة العربية وله فرع آخر هو الفرع الآسيوي الذي يشمل آسيا الوسطى وجبال التاي وبايكال وما وراء البايكال وآسام.

من الملاحظ أن نطاق المحيط الهادي نطاق ضيق في كل مكان تقريباً ويتماشى مع امتداد فوالق وصدوع المسطحات أو الصفائح البنائية. ونجد هنا بعض مناطق زلزالية من النموذج المعروف بنموذج التكسير الجليدي (تكسر مناطق من الصفائح بشدة إلى أجزاء صغيرة) كما في الآلاسكا وسيرانيفادا (الولايات المتحدة وكندا) والفيليبين وأواسط اليابان.

أما بالنسبة للحزام المتوسطي الآسيوي فإنه خلافاً لما ذكرناه وباستثناء بعض المناطق غير الكبيرة يسيطر نموذج الجليد المتكسر خاصة في أقاليم جبال الألب وفي البلقان وبحر إيجة وإيران والقفقاس والبحر المتوسط عامة ومناطق الصين (كون لون وشرق الصين) وآسام وبورما.

وهذا ما يفسر على ما يبدو حقيقة أن نطاق المحيط الهادي يتماشى تقريباً مع الحدود الفاصلة بين القارات والمحيط. أما النطاق المتوسطي الآسيوي فإنه يمر بمحاذاة القارات. لذا فإن القشرة القارية السميكة لاتتصدع وتتكسر بسهولة كالقشرة المحيطية القليلة السماكة نسبياً. ولكن ظاهرة التكسر في القشرة القارية أكثر سعة من المحيطية وهذا ما يفسر سعة المناطق الزلزالية مقارنة مع حزام المحيط الهادي الأقل عرضاً. ويؤكد ما ذكرناه النطاقات الزلزالية المحيطية الثانوية ممثلة بالسلاسل الجبلية المحيطية الموجودة مغمورة في أواسط المحيطات كسلاسل المحيط الأطلسي والهندي والهادي. الزلازل هنا ليست قوية وتحتل شريطا ضيقا وهي قريبة في بؤرها من سطح الأرض.

يعتبر الطوق الناري في المحيط الهادي أكثر مناطق الأرض نشاطا زلزاليا. إذ لوحظ أن حوالي (75٪) من الفعالية الزلزالية خلال القرن العشرين قد تمركزت هنا، وشهدت بعض المناطق هنا زلازل مدمرة بلغ مقدارها (8,6) كما في كولومبيا وكذلك في سنة (1906) والتشيلي عام (1960).

لقد طور في سنة 1923 العالم الهولندي وينينغ -مينيس طريقة جديدة لقياس قوة الثقالة في عرض البحر. وبعد تجارب طويلة ومتعبة في منطقة جزر الصوند استطاع هذا العالم أن يكتشف شذوذا كبيراً في قوة وشدة الثقالة الأرضية، وذلك فوق الفجوج المحيطية العميقة والتي تحيط بالجزء المحدب من القوس الجزري هذا. بعد هذا الحدث تطوع كثير من علماء الفيزياء والجيولوجيا والجيوفيزياء لإجراء مثل هذه القياسات في مناطق أخرى من الأقواس الجزرية وتوصلوا إلى نتائج مشابهة لما ذكره العالم الهولندي.

إذا ما نظرنا من جهة المحيط نرى أن الأقواس الجزرية تحاذيها فجوج سحيقة جدا غنية ببؤر الزلازل السطحية العنيفة وبشذوذ ثقلي يقترب من الصفر في قيمه. بينما نراه إيجابياً في القيعان المحيطية العميقة. ولقد تبين وجود بؤر عميقة تحت البؤر السطحية في منطقة الفجوج وتمثل البؤر الانتقالية. وفي الجزء الأعلى من الأقواس (الجزر) تكثر البؤر البركانية القوسية الامتداد. وإذا ما تابعنا سيرنا باتجاه القارة نرى بحارا هامشا ضحلة نسبيا تتميز بقوى ثقالة موجبة الشذوذ، إلا أن الشذوذ يتناقص كلما اقتربنا من القارة وتقل هنا البؤر الزلزالية الانتقالية.

وفي النهاية تظهر البؤر الزلزالية العميقة (أكثر من 600كم) المحدودة العدد والتي تتزايد أعماقها كلما اقتربنا من القارة وتتراوح وسطيا بين (600-700كم) وقد تصل إلى (800-1000)كم.

المناطق الزلزالية

تسهيلاً للدراسة يقسم طوق النار الزلزالي (شكل 41) البركاني في المحيط الهادي إلى العديد من المناطق التالية:

1 - جزر الأليوشي -آلاسكا

تقع في شمال المحيط الهادي، والسبب الرئيسي لحدوث الزلازل هنا، يرتبط باندفاع المسطح المحيطي نحو قوس جزر الأليوشي مع اندفاع وانزلاق أفقي باتجاه اليسار. يقول العالم الأمريكي ب. بولت: «يمكن ألا تظهر أية حركة أو زحزحة في بعض مناطق المسطح المتقدمة خلال مئات السنين، ولكن في نفس الوقت في منطقة أو مناطق مجاورة يمكنها أن تتحرك إلى

أمام بفعالية. الأمر الذي يؤدي في النهاية إلى حدوث هزة عنيفة بالنسبة لذلك الجزء الساكن سابقاً فيتحرك لاحقاً جاره المتحرك أساسا. ونتيجة لذلك تتحرر طاقة كبيرة ناجمة عن التشوه والتبدل الكبير الذي أصاب الأجزاء الصخرية المتحركة من المسطح»[*1].

لقد بقي الجزء الشرقي من المنطقة هادئا زمنا طويلا ولكن في 27 مارس من عام (1964) حدثت زلزلة عنيفة تعتبر أقوى هزة عرفتها المنطقة إلى الآن. ولقد وقعت في يوم عيد كنسي هو يوم الجمعة لذا عرف بزلزال الجمعة المرعبة.

لهذا الزلزال أهمية علمية لأن مقداره كبير وربما بلغ (M =8, 6) وهو أعنف زلازل القرن العشرين. وبعضهم يشك في هذا الرقم لأن مقاييس الرصد العادية لايمكنها أن تسجل مثل هذا الزلزال المدمر دون تشويه واضح. ففترة الأمواج هنا كبيرة، ولقد قام العالم الياباني كان موري المقيم في الولايات المتحدة والعالم الروماني بوركار بفحص تسجيلات الزلزال وإجراء التعديلات اللازمة وتوصلا إلى نتيجة متقاربة وهي أن مقدار الزلزال (8, 9) عند الياباني و (9) عند الروماني. وربما تكون الهزة المذكورة أعنف هزة معروفة إلى الآن. علينا أن نوضح أن أجهزة الرصد الزلزالية ذات الفترة القصيرة لايمكن أن تسجل بدقة عملية الانشطارات الأساسية في البؤرة الزلزالية والتي تمت ببطء، ولكنها يمكن أن تخدم في أغراض أخرى. لقد بدأ الانشطار الصخري على عمق (30)كم في خليج برنس وليامز ثم أخذ بالتقدم مع محطات توقف عديدة. وفي كل محطة انطلقت أمواج اهتزازية قصيرة الفترة. ولقد رصدت (19) محطة توقف وبؤرة زلزالية ثانوية، فرسمت بناء على ذلك، هذه المحطات لوحة زلزالية نادرة.

فبعد الانشطار الأساسي اتجه الانشطار نحو الغرب وبامتداد 100كم. ثم بدأت عملية انشطار غربية ذات حركة أمامية خلفيةوضعفت الصخور بشدة وبعد ذلك من نقطة تقاطع الشق الأصلي مع الجانبي انشطرت الصخور الباطنية باتجاه الغرب وجزء بسيط نحو الشرق على شكل شق طويل. وهكذا امتد الشق قرابة (800)كم وتعمق حتى (180-200)كم. ولقد قدر مدى الحركة الشاقولية للصخور بعد معاينة قاع المحيط في الخليج

(*1) آيبي. ج. الزلازل، موسكو. 1982 (مترجم إلى الروسية).

والمناطق القارية المجاورة وضمن مساحة تعادل (200)ألف كم^2 قرابة (10) أمتار، وحدثت تبدلات جذرية في قاع الخليج. ولقد أدى الزلزال إلى هبوط جزء من الساحل في البحر بامتداد ثلاثة كيلومترات وبعرض (300)م، علما بأن مكان الانزلاق يبعد (100)كم عن مكان الانشطار الأصلي.

2-ألاسكا -المكسيك

على امتداد الساحل الغربي[(2*)] لكل من كندا والولايات المتحدة الأمريكية والمكسيك حركة كل من القشرتين القارية والمحيطية تتم ليس على شكل اندساس القشرة المحيطية تحت القارية كما هو معهود في هذا المحيط، وإنما على شكل حركة انزلاق أفقية. ولعل أبرز زلازل هذه الحركة زلزال كاليفورنيا الذي سببه الحركة الأفقية لصداع سان أندرياس الشهير والمدروس جيدا، والذي نجد فيه مناطق حركة طرفي الصدع تتم فيها ببطء كبير مما لايؤدي إلى حدوث الزلازل، ولكن في أماكن أخرى تكون الحركة أنشط وهنا تتمركز البؤر الأساسية الفاعلة. ولعل من أهم الزلازل هنا زلزال سان فرانسيسكو الشهير الذي حدث عام (1906) والذي كان مقداره (7, 6 -3, 8 =M). وبلغت شدة الزلزال في بؤرته السطحية (10 -11) نقطة يمر الصدع في قسمة الشمالي بمدينة سان فرانسيسكو نفسها ومن هنا تجيء فداحة أضرار الزلزال. فلقد قدرت الخسارة الناجمة عنه (400) مليون دولار آنذاك، وبلغ عدد القتلى (700) قتيل وهو عدد بسيط مقارنة بعنفه إلا أن الأضرار التي نجمت عن الحرائق فاقت أضرار الهزة نفسها.

لقد ساعد الزلزال على تقدم علم الزلازل بشكل كبير وذلك على يد علماء كبار مثل (غ.ريد). كما أن تصميم الأبنية قد لاقى تطورا كبيرا لمقاومة الهزات الأرضية. نذكّر كذلك بزلزال مهم آخر حدث عام (1980) في الساحل الغربي للمكسيك، وساعد الزلزال على إبراز دور التنبؤ بحدوث الزلازل. هذا الهدوء لوحظ في جزر الكوريل السوفييتية في الستينيات من هذا القرن، ولكن العلماء توقعوا حدوث الزلزال، وبالواقع كانت الطاقة الباطنية للأرض تتجمع وتتراكم لتنطلق فجأة عام (1980) محدثة هزة أرضية عنيفة جداً كما توقع العلماء.

3-العقدة الكاريبية

(*2) ششيبالين، المصدر السابق.

تمتد المنطقة الزلزالية هنا على شكل شريط قوسي رائع ويفصلها عن حزام المحيط الهادي شبه جزيرة يوكاتان، إلا أنها تلتقي معه ثانية قرب الحدود الكولومبية الفينزويلية. إنه مكان مدهش حقا، إذ لم تستطع القارة الأمريكية بقسميها الشمالي والجنوبي أثناء انفصالهما عن أفريقيا وأوروبا وزحفهما غربا من اجتثاث جزر المسطح الكاريبي الصغيرة المتشبثة جيدا بباطن الأرض وخلفتا وراءهما قوسا من الجزر البركانية والزلزالية. نجد في الوقت نفسه أن القسم الشمالي في الجزء الشرقي من المسطح الكاريبي يندفع نحو اليسار بينما في الجنوب الاندفاع نحو اليمين. تقع البؤر الزلزالية تحت ماء البحر في الجزء الشمالي والشرقي من العقدة الكاريبية. وهكذا تشمل الزلازل الجزء الجنوبي من كوبا، بينما تعاني جزر جاميكا من الزلازل العنيفة ففي عام (1692) ظهرا وفي احتفال ديني بهيج دمر الزلزال مدينة بورت رويال (Port - Royal) تدميراً كاملا، وهي تعتبر العاصمة التجارية والبحرية لهذه الجزر. ولكن البلاء الأعظم حملته ثلاث هزات رادفة، إذ غاص نتيجة لها القسم الشمالي من المدينة في البحر واختفى خلال دقائق.

هنالك مثال آخر مدمر حدث في منطقة بحيرة بايكال عام (1862) إذ نجد أن جزءا مرتفعا في وسط البحيرة قد غاص بعد سلسلة من الهزات تحت ماء البحيرة بعمق (7-8) أمتار، وكان بطول 36كم وبعرض 20كم، وتكون بذلك خليج بروافال Proval. إن الجزء الجنوبي من المسطح الكاريبي وبمحاذاة جزيرة ترينيداد قد خرج من الماء مجاورا بذلك مناطق آبار النفط الفنزويلية الغنية. ولايسعنا هنا إلا أن نذكر بزلزال عظيم آخر هو زلزال عام (1811) الذي عايش أشد أيام حرب الاستقلال الوطنية بقيادة الجنرال سيمون بوليفار، لقد بدأت الهزات الأرضية قرب الحدود الكولومبية. وبعد هزتين عنيفتين ظهر صدع يوكون الكبير. وامتدت الآثار المدمرة للزلزال بعد فترة هدوء بسيطة إلى العاصمة الفينزويلية كاراكاس. وكان جيش الجنرال آنذاك في المدينة. وقدر مقدار الزلزال بحوالي (8 -4 ,8). ولعل الرقم الأخير هو الأدق. لأن شقا طوله 1200كم قد ظهر. لقد دمرت كاراكاس. وقال قس في موعظته إن الزلزال كان عقابا للسكان الذين أيدوا الجنرال العاصي لأمر الله. فرد الجنرال: «ونحن نقوم بعمل مقدس هو تنظيف وتخليص المدينة من الجثث وسوف ننتصر».

4-جبال الإند (أمريكا الجنوبية)

في نقطة التماس الجنوبية للمسطح الكاريبي مع الفرع الرئيسي لنطاق المحيط الهادي تمتد عقدة كولومبيا ذات البؤر الزلزالية العميقة (عقدة بوكارامانغ). ترى البؤر الزلزالية العميقة على امتداد نطاق المحيط الهادي كاملا وفي مناطق أخرى عديدة. ولكن في ثلاث مناطق فقط هي كولومبيا وهندكوش والكاربات قرب ملدافيا نصادف تمركزا كبيرا جدا للبؤر الزلزالية. الزلازل العنيفة في المحيط الهادي ليس مصدرها البؤر العميقة، وإنما البؤرة السطحية أو الأقل عمقا، وكلنا يذكر زلزال عام (1970) الذي هز البيرو وكان مقداره (7,8). ونتيجة لهذه الهزة العنيفة اقتلعت كميات هائلة من الصخور ومن الجليد في الجبال العالية والتي غمرت مدينة أوسكاران كاملا وكثيراً من المراكز السكنية المجاورة وقتل نتيجة لذلك أكثر من (66)ألف إنسان وقدرت الخسائر بنصف مليار دولار.

5-من نيوزلاندا إلى غينيا الجديدة

ليست نيوزلاندا بعيدة عن منال قبض الزلازل، فالخطر يحدق بها. وهناك كما نعلم تكثر الينابيع المعدنية الساخنة والتي تشير إلى النشاط البنائي الكبير وإلى الطاقة الحرارية الهائلة المختزنة في أعماق الجزيرة. ومصداق ذلك تلك الزلازل العنيفة التي تضرب الجزيرة من آن إلى آخر. وهنا علينا أن نشير إلى أنه لايوجد بلد في العالم وحتى اليابان المشهورة بزلازلها مستعد لمواجهة الهزات كنيوزلاندا. فلقد حدد في حال وقوع الزلازل لكل فرد ما يجب عمله. ولقد عين موظفون خاصون لمراقبة المظاهر الزلزالية وآخرون للإشراف على احتياطي الطعام والماء والمواد الطبية والتجهيزات المخصصة لمكافحة الحرائق، كما عينت للسكان طرق احتياطية لمرورهم وأنابيب نقل ماء احتياطية. وبكلمة مختصرة تم تجهيز كل الوسائل الضرورية للإقلال من الآثار التخريبية للزلازل إلى أدنى حد ممكن. ونتيجة لما ذكرنا نجد أنه حتى الزلازل المدمرة (M=7,8) ذات الشهرة العالمية لم تؤد إلى ضحايا بشرية بالمعنى الصحيح. ففي زلزالي عامي (1929 و 1968) كان عدد الضحايا أقل من عشرة أشخاص، ولم تزد الخسائر المادية على بضع مئات من ملايين الدولارات علما بأن الزلزالين كانا كبيرين.

يذهب نطاق الزلازل هذا من نيوزلاندا وبامتداد وهاد كيرماديك -تونغا

العميقة متجها نحو جزر المحيط الهادي وجزر فيجي. تكثر الفجوج والصدوع السحيقة في النطاق وتشارك بفعالية في صنع الزلازل، والبؤر الزلزالية عميقة جدا (حتى 600كم). ولاتزال المنطقة مدروسة قليلا. وبعد انحرافين عنيفين يتجه النطاق إلى جزر غينيا الجديدة والبؤر عميقة كثيرا هنا كذلك، لذا فالمعلومات عنها محدودة. وكل ما يتوقعه العلماء هنا هو أن أعماق الأرض عالية الحرارة وصخورها لدنة ومتجانسة، وتشكل الشقوق صعب لارتفاع الحرارة والضغط الكبير، وحتى لو تشكلت فمن المفروض أنها ستلتئم بسرعة، بل ربما في نفس اللحظة. فتشوه الصخور بعد الهزات الأرضية لايستمر إلا هنيهات قليلة فلا تسمح للشقوق بالتوسع والتطور وكأن التشويه الصخري لم يشمل الطاقة الاهتزازية في مناطق النشاط الزلزالي تتراوح قيمها بين (0,001 و8) جول/م^3 في السنة، وذلك بالنسبة للقشرة الأرضية السطحية. أما في المناطق العميقة من الأرض (البؤر العميقة) فلانرى مثل هذا التباين الكبير وتتراوح ما بين (0,3 و 0,5)جول/م^3/سنة. لذا يمكن القول إن ظروف تشوه وتشقق المواد في باطن الأرض متجانسة. وهكذا فإن تشققات في هذه البؤر بسيطة ومتشابهة ولا تأخذ عادة الأشكال المعقدة التي تعهدها في البؤر السطحية أو غير العميقة. ولكن قد يحدث خلاف ما ذكرناه. إذ إن زلزال عام (1971) في منطقة فيجي -تونغا كان على عمق (570)كم ومع ذلك فإن الشق في بؤرته كان معقداً ومتشعباً وربما كان مخروطيا.

6-الفيليبين-اليابان

يعاني أرخبيل جزر الفيليبين من تكرار حدوث الزلازل والكثير منها معتدل القوة وقوي. ولكن أشد الزلازل وأكثرها تخريبا نصادفه في جزر اليابان. هناك حيث النشاط البنائي الزلزالي الكبير والعدد الكبير من السكان في وحدة المساحة أصبحت الزلازل مشكلة وطنية خطرة. لذا تعتبر المدرسة الزلزالية اليابانية إحدى أهم المدارس في العالم، وهذا مايفسر التطوير المرموق لبناء طرز معينة من الأبنية هدفها الإقلال من تخريب الزلازل أو مقاومتها مقاومة فعالة.

لقد كانت الانطلاقة الكبرى في تطور علم الزلازل في اليابان سنة (1923) إثر زلزال الأول من سبتمبر المدمر، الذي حدث في السنة نفسها،

والذي بلغ مقداره (3 ,8) وربما بلغ 6 ,8 حسب تقدير العالم الياباني كاناموري.

كانتو سهل يرقد على ضفاف المحيط الهادي في جزيرة هونسيو وهي أكبر جزر اليابان، وهذه المنطقة أكثر مناطق اليابان نشاطا زلزاليا. وهنا توجد العاصمة اليابانية طوكيو وميناء البلاد الأساسي أيؤكوغاما. لقد دمرت هاتان المدينتان كاملا تقريبا، وأحرقت النيران كل ما تبقى بعد الزلازل. ولم يسبق لأحد أن رأى مثل هذا الدمار والتخريب في أي مكان من العالم. فلقد هلك أكثر من (143) ألف إنسان. وقدرت الخسائر المادية بحوالي (16) مليار دولار. ولا غرابة في ذلك فالزلازل هذه لاتبقي ولا تذر شيئا. لقد انحدر الشق في البؤرة الزلزالية بعيدا نحو قاع المحيط في خليج ساغامي ومن العسير التعرف عليه. ولكن الزلزال المعروف باسم مينواداري الذي حدث في سنة (1891) والذي بلغ مقداره (8) امتد الشق فيه إلى الأعلى شاقا سطح الأرض مسافة (80)كم على شكل تدرجات بنائية يصل ارتفاعها إلى (8) أمتار.

لقد أوضحت دراسة الزلازل هذه أن الزلازل اليابانية ليس سببها الانفجارات في باطن الأرض وليس اندفاع المهل ولكن الحركات البنائية التي تنتاب الصدوع والانكسارات، أي حركة صخور القشرة الأرضية عبر الشقوق والفجوج.

7-جزر كوريل -كامتجاتكا

إذا ما اتجهنا شمالا في الجزء الغربي من إطار النار للمحيط الهادي نصل في سيرنا إلى الإقليم الزلزالي الروسي كوريل -كامتجاتكا. تعاني جزر الكوريل وكامتجانكا من زلازل شديدة إذ إن عددا مثل هذه الهزات الأرضية يفوق عدد الهزات الأرضية في كل أنحاء الاتحاد الروسي.

لقد اهتم العلماء الروس بدراسة الظواهر الزلزالية في هذا الإقليم. ومن أقدم من عايش الزلازل هنا واهتم بها الرحالة الروسي المعروف ب.ب كراشنينيك، الذي وصف أحد الزلازل في كتابه وصف أرض كامتجاتكا مشدوها: «في جزيرة[*3] شومشو رجفت الأرض بقسوة بالغة وتهاوى عدد كبير من السرادق، وأصبح من العسير على الناس الوقوف على أقدامهم وغزت المياه الشاطىء وظهرت الأكمات والتلاع الصغيرة وبرزت خلجان

(*3) ياكوشفا، المصدر السابق 1988.

صغيرة على الشاطىء».

لقد شهدت جزر كوريل في جزئها الشمالي زلزالا كارثيا عام (1952) وكذلك الجزء الجنوبي الغربي لشبه جزيرة كامتجاتكا. بعد نصف ساعة من الهزات العنيفة اندفعت أمواج البحر العاتية (التسونامي) بقوة ضاربة الشواطىء بعنف. ويرتبط ظهورها بحركات هبوط أو صعود شديدة لقاع البحر أو المحيط، فتندفع الأمواج بسرعة تختلف وعمق المحيط وقد تصل إلى عشرات الكيلومترات في الساعة. ويجب أن نشير إلى أن الرؤوس الشاطئية تضعف الأمواج وتشتتها، ولكن الخلجان والأنهار والتجاويف عامة تحصر الأمواج فتزيدها عنفا وهياجا. وعندما تصل الأمواج إلى الشاطىء يقل عمق المياه فتصطدم هذه بالقاع فتتكون موجة هائلة قد يصل ارتفاعها إلى (15-10)م بل وأكثر. يجب أن نوضح أنه لو تعرض قاع المحيط في مركز البؤرة التسونامية لارتفاع مفاجىء لتشكل جدار كبير من أمواج التسونامي مرتفعة عاليا دون سابق إنذار. أما إن غاص المركز في ستتكشف الشواطىء وتنحسر عنها مياه البحر راجعة إلى الخلف نحو عرض البحر، لتملأ الحفرة التي كونتها الزلازل. لقد عانت بعض المناطق من زلزال عام (1952) بشدة، وذلك لأن أمواج التسونامي قد حوصرت في المضائق والخلجان فازدادت ارتفاعا وسرعة، وحملت هذه الأمواج الدمار لمدينة سيفرا كوريلسكاومات الكثير من جراء ذلك. ومن هذا التاريخ نصبت محطات خاصة لمراقبة حركات التسونامي والزلازل. وذلك لتحذير الناس لينجوا من مخاطرها. ويمكن لهذه المحطات أن تحذر الناس من التسونامي قبل وصولها بحوالي (15-10)دقيقة. وتحتاج عادة إلى نصف ساعة لبلوغ الشواطىء.

يتميز المحيط الهادي بأمواجه التسونامية العنيفة التي يمتد تأثيرها بعيدا جدا عن الشواطىء. فتسونامي جزر كوريل قد تؤثر على جزر هاواي الواقعة بعيدا وسط المحيط الهادىء، وقد يصل تأثيرها إلى اليابان وآلاسكا. وحتى تصل إلى هذه الأماكن القاصية يمكن اتخاذ كل الاحتياطات اللازمة للإقلال من أضرارها الكارثية.

8-الصين

المعلومات عن زلازل الصين محدودة نسبيا، ولكن هناك تحدث أكثر زلازل الأرض تدميرا، وتعاني الأقاليم المتوسطة والشرقية خاصة من مثل

هذه الهزات. وفي الغرب من مقاطعة كونيلون وفي جبال هيمالايا كثيرة كذلك. وإلى الشرق من خط الطول (102) يكثر السكان، لذا فإن عدد ضحايا الزلازل هنا كارثي في كثير من الحالات. ولربما أشد الزلازل تدميرا تلك التي وقعت قبل ثلاثة قرون تقريبا، وذلك في عام (1663). كانت البؤرة السطحية متمركزة في الجزء الساحلي من مقاطعة شانيدون. لقد جاءت شهرة هذا الزلزال ليس من عدد ضحاياه، إذ إن عددهم لم يزد على (50) ألف نسمة، ولكن عظمة الزلزال تجلت في سعة مساحة منطقة التخريب التي بلغت نصف مليون كم2، ولم تقل شدة الزلزال ضمن هذه المساحة عن (7)نقاط. وتزيد هذه المساحة على مساحة بلاد الشام بمرة ونصف. لم يشهد التاريخ أعنف من هذا الزلزال في هذه المنطقة، ويعتقد علماء الزلازل الصينيون أن مقداره لايقل عن (9) درجات بمقياس ريختر، وربما بلغت شدته حسب مقياس كاناموري المعدل (3 , 5.9 , 9) درجة.

ومن حسن الحظ أن بؤرة الزلزال كانت عميقة كثيرا وشرخ الأرض بقي مدفونا في أعماق الأرض ولم يظهر على السطح، ولو حدث ذلك لكانت الخسائر أشد وطأة بكثير. وقبل أكثر من مائة سنة من هذا الزلزال وفي أواسط الصين في مقاطعة شينيس ظهرت كارثة أخرى. هنا كان أكثر السكان يعيشون ليس في البيوت ولكن في كهوف متعددة في صخور متماسكة جيدا دقيقة الجزيئات مؤلفة من اللوس. وهو صخر ضعيف التماسك أمام الهزات الأرضية، إذ إنه يتحول بسهولة نتيجة للصدم العنيف إلى مسحوق متطاير غباري وكثيرا ما تجرفه المياه إلى المنخفضات. لقد أدى الزلزال المذكور إلى حدوث ما ذكرنا آنفا وذلك في (23 يناير من عام 1556). لقد تفتتت وتفككت الصخور اللوسية وتحولت إلى ركام من المهيلات الترابية وهلك بسبب ذلك ما يزيد على (830) ألف إنسان. وهذه أكبر خسارة بشرية زلزالية عرفها تاريخ البشرية. ومن المعروف أن عدد السكان في القرن السادس عشر كان أقل بكثير مما هو عليه الآن. وعليه، فإن هذا الرقم يحتل نسبة عالية بالنسبة لسكان الصين آنذاك، وأن عدد الناس الذين أهلكتهم الزلازل خلال (500)سنة من تاريخ الصين الأخير قد قدر بأكثر من 2 , 2مليون نسمة. وفي اليابان هلك خلال هذه الفترة مايربو على (500)ألف نسمة.

من بورما إلى هندكوش

لعل أشد الزلازل القارية (حدثت وسط القارات) ذلك الذي وقع في سنة (1950) عند الحدود بين آسام والتيبت. إذ بلغ مقداره (8,6) بمقياس ريختر و(9,2) حسب مقياس كاناموري، ويعتبر أشد الزلازل التي حدثت إلى الآن خارج نطاق إطار النار في المحيط الهادي. ويقول عالم الزلازل الأمريكي أ.روبيرتس في كتابه «عندما ترجف الأرض»: «حتى في واشنطن البعيدة جدا عن مكان الزلزال يمكن للعين المجردة أن تلاحظ التذبذبات التي رسمتها إبرة جهاز الرصد على أسطوانة الرصد. وفي محطة «موسكو» شوهدت إبرة رصد الزلازل البعيدة تقفز بقوة استثنائية خلافا لما هو معهود في حالة الزلازل البعيدة. مما يشير إلى شدة قوة الهزة الأرضية التي أصابت قلب القارة الآسيوية والتي تبعد عن موسكو مسافة (4200)كم. من حسن الحظ أن هذه المناطق نادرة السكان، لذا فإن الضحايا لم يجاوزوا (150) إنسان. ولكن التأثير على الطبيعة كان جسيما. فلقد انهالت الصخور بكثرة وانجرفت الترب والمهيلات السطحية بفعالية شديدة. إلى شمال غرب هذه المنطقة وقرب الحدود الأفغانية في جبال بامير ترقد بؤرة زلزالية عميقة وتعرف باسم بؤرة هندكوش الجبلية. وفي الواقع أن الزلازل العنيفة هنا تغطي مساحات شاسعة من الجبال في الإقليم، لذا فإن الزلازل القوية يُشعر بها جيداً في أفغانستان وشمال الهند وفي آسيا الوسطى. بل يمكن أن يمتد تأثيرها بعيدا إلى طشقند وسمرقند. ويلاحظ في الزلازل هناك أن بؤرة التدمير الأكبر لاتقع فوق البؤرة العميقة مباشرة، بل تنحرف جانبا. مما يشير إلى أن اتجاه الأمواج الاهتزازية ليست رأسية بل مائلة.

الهند، إيران، تركيا

تقع هذه البلدان ضمن النطاق الزلزالي الممتد من إسبانيا غربا وحتى أندونيسيا شرقا، وتحتل الجبال هنا المكان الأساسي من النطاق. ويشمل جبال تركيا وإيران وشمال العراق وشمال الهند في إقليم جبال هيمالايا.

حدثت في العاشر من نوفمبر من عام (1967) هزة أرضية مركزها مدينة كونيا الهندية الواقعة جنوب مدراس. هذا الزلزال لايمكن اعتباره زلزالا مدمرا لأن مقداره لم يزد على (6,5) ولاتزيد شدته في بؤرته السطحية على (9)نقاط، ولكن شهرته قد انبثقت من حقيقتين، الأولى: أن الخارطة

الاهتزازية للزلزال غير طبيعية. فمنطقة التخريب ليست كبيرة وخطوط الاهتزاز المتساوية أي (Isoseist) متقاربة كثيرا. مما يشير إلى أن مصدر الهزات الأرضية قريب من السطح وعلى عمق لايزيد على (7.4)كم. أما خطوط الاهتزاز المتساوية الأضعف فإنها متباعدة كثيرا بعضها عن بعض، خلافا للسابقة. وانطلاقا من واقع تباعد خطوط الاهتزاز يمكن الحكم بأن عمق البؤرة الزلزالية لايقل عن (50.40)كم. وهذا يتعارض بشدة مع الرقم السابق. وعليه يمكننا أن نتوصل إلى الاستنتاج التالي: إن بؤرة الزلزال عبارة عن صدع أو انكسار رأسي الاندفاع، ورغم أنه ليس بالكبير إلا أنه عميق الجذور في الأرض، إذ بلغ امتداده باطنيا أكثر من 40كم، بينما أدى اقترابه من السطح إلى ظهور خطوط الاهتزاز المتساويةالكثيفة في منطقة البؤرة السطحية. لقد ساعد هذا الزلزال على تطوير طريقة تحليل الخرائط الزلزالية وأظهر تنوع أشكال هذه الخرائط.

ثانيا: للإنسان وبدرجات متباينة دور في حدوث الزلزال المذكور، إذ يرى كثير من الاختصاصيين أنه زلزال يندرج ضمن مجموعة الزلازل الإنسانية أو المحدثة. إذ ساعد تأثير الفعاليات الإنسانية على ظهور تبدلات وحركات في القشرة الأرضية، وذلك بتأثير من المياه الكثيرة التي تجمعت وراء سد بُني حديثا هنا. ويحفل التراث الزلزالي الحالي بالعديد من هذه المظاهر التي لم يتفق على تفسيرها بعد. ولكن يمكن القول وبشيء من الثقة إنه، إذا ما بُني سد في منطقة جبلية كالمنطقة السابقة وإذا ما شغل بالماء بسرعة وبارتفاع يصل إلى (100.90)م فإن زلازل قوية يمكن أن تتشكل، ولعل للضغط المائي الهائل على الأرض ضمن مساحة محدودة سببا مهما في حدوث الهزة الأرضية. والمهم هنا كذلك تغلغل الماء ضمن مسام الصخور بسبب ضغط الماء، الأمر الذي يؤدي إلى تبدل جذري في النظام الفيزيائي والكيميائي للصخور في أعماق القشرة الأرضية، كما أن الضغط المائي يؤدي إلى ظهور قابلية الانزلاق وتوسع الشقوق وتفكك الصخور وأمور أخرى لاتزال غير واضحة.

أما إيران فتاريخها الزلزالي حافل ولعل آخرها ذلك الذي حدث في نهاية عام (1990) وأدى إلى مقتل قرابة (50) ألف شخص وبلغ مقداره (7,5)تقريبا، ولقد تمركز في شمال غرب إيران ودمر قرى ومدنا كاملة

وشرد مئات الألوف من الناس. ويذكرنا هذا الزلزال بزلزال آخر هو زلزال كوتشان الذي وقع قبل مائة عام تقريبة أي في (1883 و 1895) وكان مقدار الزلازل عاديا (3 ,6 و 5 ,6) ولكن التخريب كان كبيرا وذلك لقرب البؤرة الزلزالية من السطح، الأمر الذي أهلك آلاف الناس. ولقد شاركت قطاعات من الجيش الروسي في عمليات الإنقاذ وذلك بطلب من الحكومة الإيرانية. ومن الزلازل المدمرة في هذه المنطقة زلزال عشقباد المشهور، والذي حدث سنة (1948) وظهرت آثاره التدميرية ليس في جنوب الاتحاد السوفييتي السابق فقط بل وفي بلدان مجاورة كإيران وأفغانستان. واستنادا إلى خط الاهتزاز المتساوي (9) يمكن القول إن طول بؤرة الزلزال بلغت (80)كم، وبلغ مقداره (3 ,7) حسب ريختر. ومثل هذا الامتداد يتناسب عادة مع مثل هذا المقدار. أما بالنسبة لتركيا فالزلازل متمركزة في مناطق الصدوع والانكسارات البنائية. وهو ما يعرف بصدع الأناضول الشمالي الذي يتماشى مع حدود المسطح الأناضولي النشط حركة. بؤر الزلازل ليست بعيدة عن السطح وتمتد مع الصدوع وآثارها التخريبية شديدة لقربها من السطح الخارجي. تقع ضمن البؤر مناطق مدينة اسطنبول وبحر مرمرة ومناطق جنوب البحر الأسود الصناعية. وتشير المعطيات التاريخية إلى أن منطقة الأستانة قد عانت من الزلازل أكثر من سواها من مناطق حوض البحر الأبيض المتوسط.

لقد أحصي منذ عام (350) ميلادية وحتى عام (1985) أكثر من 12هزة أرضية مدمرة لاتقل مقاديرها عن (9) درجات بمقياس ريختر. ومع ذلك فإن مناطق الكوارث الزلزالية ليست في منطقة العاصمة القديمة، وإنما في السواحل الغربية لتركيا والمطلة على البحر الأبيض وكذلك في شمال وشمال شرق البلاد. ولقد عانت كثيرا من الزلازل البيوت الحجرية والطينية السيئة البناء والتصميم وذات السقوف السميكة. وخلال سبع سنوات فقط بين (1970 و 1976) وبواسطة أربعة زلازل قوية (1970 , 1971 , 1975 , 1976) قتل مايزيد على (8300) إنسان. نتيجة لذلك قام المهندسون والمختصون بوضع خرائط زلزالية للبلاد ووضعوا نماذج لبناء البيوت المقاومة للزلازل، وصدرت نشرات كثيرة حول نوعية الأبنية والاحتياطيات البنائية والاجتماعية والفردية الواجب اتخاذها قبل وبعد الزلازل.

البلقان

تتمركز الزلازل في هذا الإقليم في النطاق الآسيوي -المتوسطي (البحر الأبيض)، وتتطابق مع أماكن انتشار المراكز الحضارية القديمة لأوروبا. وهل كان هذا الأمر مصادفة، لعله كذلك. وبالمناسبة مثل هذا الواقع نجده كذلك في اليونان ومصر بلاد الرافدين والهند والصين وروما القديمة.

إذا ما عدنا إلى التاريخ القديم للبلقان نجد أنه في سنة (373) قبل الميلاد حدث زلزال مدمر كان مركزه بين شبه جزيرة نيلوبوني وكريت. وشُعر به في أكثر أنحاء الإمبراطورية الرومانية (أوروبا)، بل إن آثاره قد امتدت إلى ليبيا ومصر وطغت الأمواج التسونامية على الشواطىء الجنوبية للبحر الأبيض المتوسط. ويجب أن نشير هنا إلى زلزال فيليكان كما أسماه عالم الزلازل (أ. زيبيرغ) والذي وقع في يونيه من عام (1926). كانت بؤرته على عمق (100)كم ومقداره (7 ,7) وامتد تأثيره من الواحات المصرية جنوبا وحتى روما شمالا. كما أن جزر الأرخبيل اليوناني ومدن سالونيك وزغرب وصوفيا وبوخارست وسكوبيه ودبروفينك..... إلخ تعاني من الزلازل، وكذلك أجزاء واسعة من يوغسلافيا وبلغاريا ورومانيا وغرب الاتحاد السوفييتي السابق. إن مركز الثقل في البؤر الزلزالية يقع في مقعر الكاربات البنائي والمعرض للانضغاط.

ولقد وضعت بتكليف من اليونيسكو خرائط لتحديد مواقع البؤر الزلزالية في البلقان وغرب الاتحاد السوفييتي وحددت فيها أكثر المناطق خطرا، وأدخلت تعديلات مهمة على طبيعة المباني لكي تقاوم الزلازل، واستحدثت وسائل للتنبؤ عن الزلازل. ولكن الزلازل كما نعلم لايمكن تحديد مقاديرها ولا زمان وقوعها ولا أماكنها بشكل جيد.

إقليم البحر الأبيض المتوسط الغربي

تقع ضمن الإقليم إيطاليا ومناطق واسعة من إسبانيا والبرتغال وأقطار المغرب العربي الكبير. ففي 29 مارس من عام (1954) وفي منطقة جبل طارق حدث زلزال غير متوقع. إذ إن بؤرته عميقة وقدرت حسب معطيات أوروبية متعددة بحوالي (640)كم. ومثل هذا العمق الشديد لايشاهد إلا في إطار زلازل المحيط الهادي. وخلافا لما ذكرناه نجد أن زلزال أغادير الذي وقع في سنة (1960) كانت بؤرته سطحية ولا تزيد على (6.4) كم ومن هنا

جاءت قوته التدميرية الكبيرة مع أن مقداره لايزيد عن (7, 5) حسب ريختر. ودفعت هذه المدينة المغربية ثمنا باهظا نتيجة للزلزال، ويقدر عدد الضحايا ما بين 12 و 14 ألف قتيل رغم أن عدد السكان يزيد على 30ألف نسمة.

وإذا ما اعتبرنا أن المقدار (M = 6- 6, 5) هو الحد الاعتباري بين الزلازل القوية والضعيفة. يمكن اعتبار زلزال أغادير أكثر الزلازل الصغيرة المدمرة في تاريخ البشرية. ويجب ألا ننسى كذلك زلزال عام (1981) الذي هز أرجاء إيطاليا، ولقد امتدت بؤرته السطحية من أيبولي وحتى فيوميتجينوا غير بعيد عن مدينة نابولي، وكان مقداره 7 درجات وقتل ما يزيد على (2000) شخص رغم كل الاحتياطات المتخذة أمنيا وبنائيا. وبالواقع مثل هذه الزلازل غير نادرة في هذا الإقليم.

وهكذا يجب أن نشير في الختام، أن العالم العربي واقع ضمن الأقاليم الزلزالية النشطة. فحوض البحر الأبيض المتوسط كاملا مشهور بتاريخه الزلزالي وكذلك حوض البحر الأحمر وشمال العراق وأطراف شبه الجزيرة العربية. ولكن من المؤسف أنه لم تتخذ في البلدان العربية إجراءات الحيطة الزلزالية الضرورية ولو بحدودها الدنيا، ولايمر عام إلا وتشهد مناطق معينة من الوطن العربي هزات أرضية ضعيفة غالبا. ولكن هذا إيذان بإمكان ظهور زلازل قوية ومدمرة في أية لحظة من اللحظات. ويجب أن نشير إلى أن استخراج النفط العنيف في جنوب العراق وشرق المملكة العربية السعودية وفي الخليج العربي بالكامل سينعكس بالتأكيد على توازن القشرة الأرضية في شبه الجزيرة العربية وبلاد الشام والرافدين وإيران، إذ إن عمليات خفس لابد من حدوثها في هذه المناطق، ويجب ألا ننسى أننا أمام مناطق رفع بنائية في حوض البحر الأحمر واليمن ومنطقة عفار في أريتيريا. وقد يؤدي كل ما ذكرناه إلى تجدد عنيف في الفعاليات الزلزالية وفي تجدد الفعاليات البركانية خاصة في اليمن وغرب السعودية، إذ كثيرا ما تسببت الهزات الأرضية في تجدد الفعاليات البركانية.

11 قصص من الزلازل

ليس في الإمكان سرد كل حوادث الزلازل، فهي تتكرر بالعشرات سنويا، ولا تمر سنة إلا وتشهد بضع زلازل قوية مدمرة كارثية، وتاريخ البشرية حافل بمثل هذه الزلازل، وهي ذكرى مخيفة في تاريخ البشرية. وكثيرا ما تشير إليها الكتب الدينية وتاريخ وأساطير الشعوب عظة للناس.

ولقد اخترنا عددا من الزلازل النموذجية ذات الأعماق والسمات المميزة. بعضها جلب الكوارث المدمرة رغم قوته المحدودة، والآخر كانت آثاره التدميرية البشرية محدودة، ولكن آثاره في الطبيعة أكبر بكثير، وبعض الزلازل جمع الأمرين معا التدمير العمراني والسكاني المريع والتبدلات التضريسية والهيدرولوجية الواسعة. وسنورد الآن نماذج من هذه الزلازل.

1- زلزال نيو مدريد (1811-1812)

يقع الزلزال في الجزء الأوسط من الولايات المتحدة الأمريكية،ولكن من حسن الحظ كان عدد السكان فيها قليلا، وكذلك الأبنية والمنشآت السكنية والاقتصادية. ولولا هذا الواقع لكانت الخسائر جسيمة، إذ إن الهزة تعتبر من الهزات القوية المدمرة.

إن أهم مايميز الزلزال تأثيره الشديد في المظاهر الطبيعية لسطح الأرض. لذا يعتبره بعض علماء الزلازل أشد الزلازل تغييرا لمظاهر الأرض في تاريخ الولايات المتحدة.

وهكذا يعتبر مثالا نادرا لدور الزلازل في تغيير معالم التضاريس (يوم تتبدل الأرض غير الأرض). وتحويلها من هيئة إلى أخرى.

لا تلتقي حدود الولايات المتحدة الأمريكية إلينوى وميسوري وأركانساس وتينيسي وكينتوكي كلها في نقطة واحدة. ولو فرض أنها تلتقي لكان مركز الالتقاء مدينة نيو مدريد، ميسوري، إلا أن مكان الالتقاء أبعد بنحو 160 كم.

كان عدد سكان مدينة نيو مدريد عام 1811 قرابة 800 نسمة فقط. وتحتوي على عشرة شوارع موازية للنهر و18 شارعا متعامدا معها. تقع المدينة في منطقة متطورة زراعيا، ولكن السكان كانوا قلة كما ذكرنا. في الساعة الثانية ليلا وفي 16 ديسمبر من عام 1811 أفاق سكان المدينة مذعورين على صرير أخشاب البيوت وقرقعة الأواني والأدوات المتساقطة والمتكسرة والمداخن المتداعية. لقد هربوا إلى العراء في ليل الشتاء القارس، ولم يتجرأ أحد على الرجوع إلى منزله، إذ توالت الهزات الرادفة الأقل شدة. ولكن مع اقتراب بزوغ الفجر دوى صوت هزة جديدة عنيفة كالأولى وتلتها هزات أخرى أقل شأنا. وتوالت الهزات يوميا لأكثر من سنة، وبرزت ضمنها هزتان عنيفتان في 23 يناير و7 فبراير 1812. لقد شعر الناس بالهزة الأولى بدءا من نيو أورليان وحتى كندا وعلى امتداد الساحل الأطلسي بالكامل وبمساحة تعادل 2,5 مليون كم^2.

عندما آن لهذه الهزات أن تنتهي كان ما مساحته 8-13 ألف كم^2 من الأرض قد تغيرت معالمها تماما عما كانت عليه قبل الزلزال. فالجزء الإداري من المدينة وبعض شوارعها جرفته أجزاء الشاطىء النهري المنهارة والمنزلقة والتي دفعتها مياه النهر بعيدا. وتحول القسم الأعظم من الأراضي الزراعية الخصبة إلى أماكن غير صالحة للاستغلال، إذ تحولت إلى مروج غدقة ومستنقعات واسعة. ولم يبق من سكان المدينة سوى أسرتين بينما هرب البقية من المدينة. إلا أنهم بدأوا بالعودة بعد خمود الهزات الأرضية. وكانت أمامهم مهمة صعبة هي إعادة إعمار المدينة واستصلاح الأراضي الزراعية. لقد أثرت الهزات الأرضية بشدة في نهر الميسوري وروافده، إذ إن صخور

مجرى النهر كانت مؤلفة من طبقات رقيقة رملية وطينية جاثمة فوق صخور رملية مشبعة بالماء، لذا فإن جزيئات الرمل والطين تناثرت بقوة تحت تأثير الأمواج الاهتزازية المتتالية بعنف. وهكذا سهل ظهور المستنقعات هنا، بل برزت بحيرات لم تكن موجودة سابقا واختفت الغابات التي كانت نامية هنا. إن تشكل البحيرات لم يكن مرده إلى عمليات انزلاق التوضعات الصخرية النهرية فقط، بل إلى عمليات هبوط وخفس رافقت ظاهرة الانزلاق الصخري. ولكن في الوقت نفسه ارتفعت بعض الأماكن عاليا. ويشير هذا الأمر إلى تبدل واضح في طبيعة التضاريس وفي ظهور طبقات صخرية عميقة كانت بعيدة عن سطح الأرض. ويجب أن نشير إلى أن مساحات من الأرض لا تقل عن 10 كم^2 قد هبطت بمقدار 1,5-7م وظهرت هنا بحيرات دائمة. ويقول بعض من شاهد الزلزال: «إن شجرات(*) البلوط القديمة والجوز والتوت التي كانت تعيش في مواضع عالية نجدها الآن مدفونة تحت الماء بعمق 3 -7م. وبعض الأشجار غاصت أعمق». نتيجة لغوص مجاري الأنهار وانفلاق الأرض وظهور الشقوق في التشكلات الصخرية النهرية والرملية الأعمق، تعرضت المياه الباطنية هنا للانضغاط فارتفعت عبر الشقوق نوافير عالية 3- 5م مصحوبة بهدير وصفير سببه صوت الماء المقذوف وصوت الهواء الصاعد بقوة. وبالطبع كانت الرمال تقذف بشدة مع المياه والهواء الصاعد. وغطت الرمال في منطقة البؤرة السطحية مساحة واسعة من الأرض. وخلفت الأمواج الاهتزازية وراءها أثلاما في الأرض عميقة، مما عرقل عمليات الفلاحة لسنوات طويلة، وجرت الرمال والمياه مختلطة بضعة كيلومترات وكونت أشرطة من الأرض موزغية. ولقدعانى النهر نفسه كثيرا من الزلزال. فالانهيارات كثرت في مجرى النهر ومصاطبه. واختفت المعالم القديمة للنهر في كثير من الأماكن، واندثرت جزر عديدة، وفي إحداها غاص من كان يعيش هناك مع الجزيرة. لقد انحرف نهر المسيسيبي لفترة ما عن مجراه مرتدا إلى الوراء، ويتم هذا الأمر فيما لو ارتفعت الأرض مكان بؤرة الزلزال، أو سد مجرى النهر بالصخور المنهارة على طرفي النهر. غطت ماء النهر تموجات عاتية بسبب الزلزال وعندما ارتطمت بالشواطىء أحدثت دمارا هائلا في الغابات المجاورة للنهر. وإضافة للأشجار

(*) ف. ا. أولوف.. انتباه زلازل طشقند، 1971 ص(137)

التي اجتثت نتيجة لما سبق أو بسبب انهيار الجروف المغطاة بالغابات وخفس الجزر، فإن مساحات مهمة من الغابات قد غمرتها مياه البحيرات التي كونها الزلزال. وتشاهد الآن جذوع وجذور الأشجار المتعفنة بارزة في مياه البحيرات. ولكن بعض مناطق الغابات اختفت لأسباب غير معروفة تماما. فلربما ماتت بسبب توالي انضغاط الترب وتموجها. وهكذا اختفت مساحات شاسعة من الغابات الممتازة.

لم تشهد منطقة نيو مدريد(*1) خلال 150 سنة الأخيرة إلا هزات ضعيفة ذات تأثيرا، محدودة. ومما يثير الانتباه، أنه لو مددنا خطا مستقيما من مدينة نيو مدريد إلى البحيرات الكبرى الأمريكية ونهر القديس لافرينتا لوجدنا تمركز أهم البؤر الزلزالية على هذا الخط والواقع في أواسط الولايات المتحدة وكندا. وبعض الزلازل في كندا كانت قوية بشكل ملحوظ. ومن أبرزها الزلزال الذي وقع قرب مدينة كيوبيك، ولربما كانت قوته معادلة لزلزال نيو مدريد ولكنه حدث عام 1663، إذ لم يكن من الناس هنا إلا القليل والمعطيات عنه محدودة جدا. ونختتم وصف زلزال نيو مدريد بقول شاهد عيان: «ظهرت بحيرات(2*) جديدة لم تكن موجودة سابقا أبدا، وبلغت الأرض بعض الجبال (تلال) واختفت تماما، وسويت بعض مساقط المياه (شلال)، ولم تعد بعض الأنهار موجودة. وعندما رجفت الأرض ظهرت شقوق لا قاع لها، وتشابكت أشجار الأغصان وجذوعها بفوضى عجيبة. وغارت الغابات في بعض الأماكن مخلفة وراءها شواهد من جذوع تالفة وأغصان غضة مغموسة بالماء والطين».

2- زلزال سان فرانسيسكو 1906

يعتبر زلزال 1906 الذي وقع في 18 أبريل والذي دمر مدينة سان فرانسيسكو الأمريكية أحد أشد زلازل العالم قوة وقسوة.

إن شهرة هذا الزلزال ليس مرده إلى الآثار التدميرية التي خلفها فقط، بل ولأنه يعطينا مثلا رائعا عن خصائص الزلازل وسماتها، فهو مثل ممتاز لظهور الشقوق السطحية الشابة ولحدوث الحرائق المروعة التي تواكب

(*1) Haroun Tazief (المصدر السابق).

(*2) هارون تازييف. المصدر السابق ص (74).

الزلازل من آن إلى آخر.

إن تسمية الزلزال بزلزال سان فرانسيسكو لا يمثل الواقع تماما، فالزلزال ليس سوى زحزحة لصدع سان أندرياس المشهور وبامتداد يربو على 400كم. وكل هذه المسافة قدعانت بشدة من هذا الزلزال. وتمركزت هنا العديد من المراكز البشرية وسان فرانسيسكو إحداها. ولكن لشهرة المدينة نسب الزلزال إليها. ولقد كان سببا في دراسة صدع سان أندرياس دراسة واسعة معمقة ساعدت كثيرا على فهم كنه الزلازل وأسباب حدوثها. هنالك وجهات نظر متباينة حول تاريخ ظهور وتشكل الصدع وامتداده. ولكن أغلب العلماء يقدرون أنه يمتد ما لا يقل عن 900كم. ولقد تكون منذ 150 مليون سنة، أي في عصر الجوراسي. وانزلقت خلال الفترة الطويلة هذه شفتا الصع مسافة 500كم باتجاه متعاكس. والانزلاق هو المسبب لزلزال 1906 وسواه من الزلازل.

لقد انفجرت الهزة صباحا في الساعة الخامسة و12 دقيقة، في الوقت الذي لا يزال فيه أكثر الناس نيام. لقد أفاق الناس والذعر قد أخذ منهم كل مأخذ بسبب هدير الأبنية المتهاوية وضجيج أجراس الكنائس التي كانت تدق بلا وعي وبلا توقف لتوالي الهزات الأرضية، ولكن كثيرا من الناس لم يسمع بكل هذا، لأن أسقف المنازل وجدرانها قد جعلتهم ينامون إلى الأبد، ودونأن يلاحظوا شيئا مما حدث. لقد كان الناس في الشوارع والساحات شهودا لأفظع مظاهر الحرائق والخراب. الهزات عنيفة ومدمرة في كل مكان، إلا أنها أعظم في المواضع المؤلف قاعها من صخور هشة طينية ورملية. هنا تموجت التربة وتشققت الأرض وهطلت الشرفات والتماثيل الجميلة الملونة على الأرض وكانت معهودة آنذاك كثيرا في الأبنية والحدائق والساحات، وذهب ضحية ذلك مئات الأشخاص الهاربين إلى الشوارع من بيوتهم. ولو حدثت الهزة نهارا لكان عدد الضحايا أكبر.

لقد بدأت الزلزلة بأمواج اهتزازية ضعيفة نسبيا، إلا أن قوتها أخذت تزداد لمدة أربعين ثانية ثم توقفت فجأة لمدة عشر ثوان ومن ثمة بدأت بالتنامي ثانية وبشكل أقوى من السابق واستمرت قرابة 25 ثانية. وكانت نهايتها الهزة الرئيسية. ولقد تلتها أعداد كبيرة من الهزات الرادفة الأضعف التي لا تمثل عادة خطرا حقيقياعلى الناس والأبنية. ولكن ما نتائج زلزال

الستين ثانية. في الأبنية المقامة فوق التلال ذات الصخور الصلبة الأضرار ليست جسيمة نسبيا، فلقد تهشمت التماثيل وكسرت النوافذ وتهدمت المداخن كما تكسرت الأواني المنزلية وأثاث البيوت، ولم يحدث هدم للأبنية. أما في الأماكن التي كانت الأبنية مقامة على قاعدة صخرية غيرصلبة، خاصة في الأماكن الواقعة بين التلال فإن الدمار كان أكبر بكثير إذ تهاوت كثير من الجدران متساقطة في الشوارع بل إن أبنية كاملة قد توارت تماما. وأشد الأماكن تدميرا كان في مركز المدينة في سيتي هول والذي يرمز إلى عظمة وجمال المدينة. وكانت الخسائر هنا تقدر بملايين الدولارات (آنذاك). لقد دمر الحي تماما ودفن تحت الأنقاض كل ما أبدعته يد الإنسان من لوحات وتماثيل وزخارف وأيقونات، ولوحظ دمار كبير في منطقة الخليج كذلك حيث الأرض الرخوة، فلقد سويت العديد من المباني بالأرض، بل إن بعضها قد خسفت به الأرض. وهكذا كانت الضحايا الشرية عالية هنا وفي كل الأماكن التي أقيمت بيوتها فوق أرض غير صلبة. لم تقتصر عمليات الانجراف والانهيار الترابي والصخري على الأماكن الساحلية المكونة من صخور هشة بل تعدتها إلى الأماكن الموجودة قرب الجداول والأنهار. لم يكن هنالك وقت كاف لإحصاء نتائج التخريب الشامل الموجودة قرب الجداول والأنهار. لم يكن هنالك وقت كاف لإحصاء نتائج التخريب الشامل الذي ألم بالمدينة، وذلك لأن عددا كبيرا من المداخن المنهارة أو الملتوية قد تسببت في اندلاع عدد كبير من الحرائق المريعة في أكثر من خمسين مكان في مختلف أنحاء المدينة.

لقد دمر الجزء الأكبر من محطات الإطفاء وكذلك تخربت أجهزة الإنذار، ومع ذلك كثف رجال الإطفاء جهودهم لمكافحة الحرائق. ولقد حققوا في البداية نجاحا واضحا في إطفاء الحرائق، ولكن ما لبث أن تناقصت سرعة اندفاع المياه في أنابيب محطات الإطفاء بشدة وتوقفت في النهاية لأن مراكز الضخ قد دمرت تماما.

وبدأ رجال الإطفاء بإحضار المياه من الآبار ومن الخليج نفسه، ولكن ازدادت الحرائق شدة وأخذت تتسلق نحو الأماكن الأعلى من المدينة، وبدأت درجات الحرارة تزداد في البيوت بشك ل كبير، وهكذا بدأ الأثاث بالاحتراق ذاتيا وامتدت ألسنة اللهب من بيت إلى آخر وانقلبت المدينة إلى جحيم

مستعر[3*]. وتفجرت بعض البيوت كاملة لاشتداد الحرارة فيها. ووقف رجال الإطفاء والدفاع المدني والناس مذعورين لا حول لهم ولا قوة واستمر تقدم النيران بسرعة في كل الاتجاهات. وفي منتصف يوم الثامن عش من أبريل قد تخربت كل الأحياء التجارية والإدارية في المدينة. استرت النيران اشتعالا ثلاثة أيام بعد ذلك وفي ثلاثة اتجاهات رئيسية. ولكن ومع الزمن وبجهود فائقة من رجال الإطفاء أخذت شدة الحرائق تتناقص واستعملت المتفجرات لكسر طوق النيران، بل إن بيوتاكاملة دمرت أمام جبهة النيران لإيقاف تقدمها. ومن صباح يوم 21 أبريل أخمدت النيران التي كانت تهدد الساحل الشمالي وذلك نتيجة لتعاون رجال الإطفاء في المدينة مع السفن العائمة في الخليج.

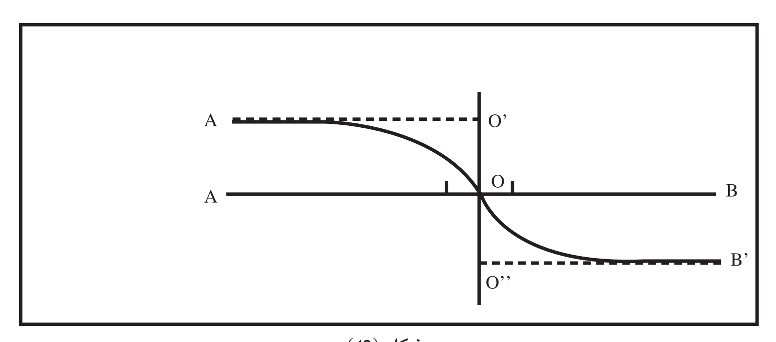
الآن يمكن للمدينة أن تقدر خسائرها. لقد حرقت النيران ودمرت الزلازل490 حيا كاملا أو ما يعادل 1052 هكتارا. ودمرت 30 مدرسة و80 كنيسة ومعبد، وفقد بيوتهم قرابة ربع مليون إنسان وقتل 450 إنسانا. لقد اختفت منطقة سيتي هول تماما مع وثائقها ومكتباتها ومحكمتها ومسارحها ومطاعمها الفخمة وسجنها المركزي. لقد أصبح الحي يبابا واختفى كل شيء. واحتدم النقاش من المسؤول عن الخراب الزلزال أم الحرائق أم الاثنان معا. ولكن الأهم من كل هذا أن المدينة قد دمرت كاملا تقريبا. ويقدر الخبراء الأمريكيون أن الخسارة التي سببتها الهزات الأرضية تتراوح حسب تقديرات مختلفة بين 10 و50٪ وبعضهم يعتقد أنها أكثر من ذلك وما تبقى من خراب من نصيب الحرائق. ولكن ببساطة لولا الزلزلة لما لحدثت الحرائق بهذا المقياس.

يمكن أن يعطينا زلزال سان فرانسيسكو مؤشرا إلى أن كل مدينة معرضة للزلازل يجب أن تكون معدة للتغلب على الحرائق، لأنها جزء تخريبي متمم وأساسي للتخريب الناجم من الهزات الأرضية. لقد قامت خزانات المياه في المدينة بشكل جيد ولكن الأنابيب التي توصل المياه قد هشمت تماما. كما أنه من الضرورة بمكان إقامة المراكز الحيوية في المدينة (محطات توليد الكهرباء، مراكز الإطفاء الأساسية ومستلزماتها وخزانات الماء الاحتياطية، مراكز المعالجة والإسعاف.. إلخ) فوق قواعد صخرية صلبة

(3*) John. H.Hodgsoh, Earthquakes And Earth Structure. Newjersey 1964.

فهي أكثر مقاومة للهزات الأرضية فلا تتهدم أو تتصدع بسهولة، والهزات الكارثية الهائلة القوة (8-9 درجة حسب ريختر) نادرة الحدوث من حسن الحظ. كما أنه يجب اتخاذ الحيطة والوقاية اللازمة عند مد الأقنية الصحية وأنابيب الوقود. لقد عانت مدنأخرى من الزلازل إضافة لمدينة سان فرانسيسكو، وذلك لأن زحزحة صدع سان أندرياس قد شملت مسافة 350كم من الصدع وكل مجمع سكاني على بعد 35كم من الصدع كحد أقصى قد دفع ثمنا باهظا من آثار الزلزال. ففي مدينة (تالو-آلنو) الواقعة على بعد 11كم شرق الصدع، قد حطم الجزء الأساسي الفعال من المدينة.

وكانت شدة الزلزال قوية خاصة في محيط جامعة ستانفورد والتي شيدت قبل الزلزال بخمسة عشرة عاما، فتداعت أبنية الجامعة رغم متانتها. كما أن كل المباني قد تضررت بدرجات مختلفة وهدم بعضها تماما. أما في مدينة سان خوسيه الواقعة على بعد 65 جنوب سان فرانسيسكو وعلى بعد 20كم شرق الصدع فإنها قد تهدمت كاملاتقريبا ووقتل 11 شخصا. وأكثر المدن تأثرا في كاليفورنيا مدينة سانتا روزا الواقعة شمال سان فرانسيسكو. لقد مات هنا أكثر من 75 إنسان. وكان للحرائق هنا دور بارز كذلك إذ قضى على العديد من الأحياء ولكن أمكن التغلب عليها.



شكل (42)

عملية تشكل بؤرة الزلزال في سان فرانسيسكو

(زلزال 1906)

لقد أثر الصدع نفسه بوضوح في سطح الأرض. ففي كل مكان تقريبا على امتداد الصدع وذلك بدءا من سان خوان جنوبا وحتى رأس أرينا شمالا ظهرت الشقوق، وكان انزلاق الصدع أفقيا. ولوحظ أن الطرف الغربي

للصدع (المحيط الهادي) قد اندفع شمالا مقارنة مع الطرف الشرقي (القارة) بمقدار 6م وذلك قرب خليج توماليس. نظرا للاهتمام الزائد بهذا الزلزال من قبل العلماء والمختصين أصبح نموذجا دراسيا بالنسبة للزلازل الأخرى. ومن حسن الحظ أن المنطقة قد مسحت قبل الزلزال مرتان ومسحت مباشرة بعده، وبالتالي توضحت اللوحة التي خلفها الزلزال والشكل الذي تم فيه (شكل 42):

نلاحظ من الشكل أن المقياس مشوه[*4]. المقطع الرأسي مداه (6)م والأفقي (30)كم. إن الخط (O'O'') يمثل الانكسار (الانشطار). لنفترض أن الخط (A'OB') كان قد مد عموديا مع مستوى الانشطار أو الصدع الذي حدث نتيجة للزلزال قبل مئة سنة من وقوعه.

ولنفترض أننا راقبنا الخط المذكور خلال كل هذه المدة وراقبنا انحناءه التدريجي. ونراه في 18 أبريل من عام 1906 قد أخذ الامتداد (A'OB')، وفي صبيحة هذا اليوم فاقت قوة التوتر الداخلي ضمن الصخور قوة تماسك الكتل الصخرية فحدث الشرخ أو الانشطار الكبير وتنقل الخط (A O) قافزا إلى الخط (A'O'') وأما الخط (OB') فأصبح الخط (O''B') وفي لحظة انطلقت الطاقة المتراكمة خلال مائة عام نتيجة لتحرك الطرف الغربي للصدع (المحيطي) بمدى بلغ (O'O''). وهكذا تم حدوث هذا الزلزال المدمر.

يرى أكثر علماء الزلازل أن اللوحة السابقة المتمثلة في تجمع طاقة التوتر الاهتزازي ثم تحررها الفجائي بسبب حدوث الانشطار الصخري الهائل، تمثل واقع الزلازل المختلفة الشدة. وهذا الانشطار الأولي قد لا يكون الأكبر، قد يردفه انشطار آخر أكبر وهذا ما يفسر في بعض الزلازل ظهور هزة أرضية رادفة أكثر شدة من الأولى. كما أن اتجاه الحركة الصدعية ليست دائما أفقية، ولكن لابد من تجمع الطاقة لفترة طويلة جدا ثم تحررها فجأة معطية قوة تدميرية مريعة.

أما النقطة (O) التي جرى عبرها الشق والانزلاق الصخري فيمثل بؤرة الزلزال (Foei) أو مكمنه. والبؤرة عميقة عادة ولكن قد تكون قريبة جدا من السطح كما في زلزال أغادير في المغرب العربي.

(*4) ا. م. غورباتشوف. الجيولوجيا العامة. موسكو 1981.

3-زلزال كوانتا

حدث الزلزال في الأول من سبتمبر من عام 1923، وأدى إلى دمار مخيف في مدينتي طوكيو وأيوكوغاما، ويعد من أحد أكبر زلازل القرن العشرين دمارا. ويعرفه العالم باسم زلزال طوكيو أو أيوكوغاما. إلا أن علماء اليابان يطلقون عليه اسم زلزال كوانتا وهو اسم حي كبير في طوكيو لاقى الأمرين على يد الزلزال. تقع بؤرة الزلزال تحت خليج ساغامي.

لقد هدم في كثير من المدن الصغيرة الواقعة على امتداد الخليج ما نسبته 50٪ من البيوت، بل وارتفعت النسبة أحيانا إلى 80٪. وكان الضرر الأشد في تلك المدن أو أجزاء المدن التي كانت مبنية فوق توضعات صخرية رباعية هشة، بينما قلت الأضرار بوضوح وسط الأبنية المشادة فوق قواعد صخرية صلبة. كما كان للحرائق دور مهم في تخريب البيوت في بعض هذه المدن.

لقد ظهرت تبدلات واضحة في أعماق الخليج، الأمر الذي ساعد على ظهور كتل موجية عاتية ضربت الشواطىء القريبة بعنف. وكان ارتفاعها يربو على 10م، ويطلق اليابانيون على هذا النوع من الأمواج اسم تسونامي وهي مرتبطة دائما بالزلازل. تجمعت في البؤرة السطحية للزلزال مظاهر طريفة مرتبطة بالمياه الباطنية، فلقد اندفعت في كثير من المواضع النوافير المائية بسبب زلزلة الأرض. وفي بعض الحالات، وكما في زلزال نيو مدريد حملت المياه المتدفقة الرمال معها راسمة على الأرض فوهات رملية حلقية جميلة. وفي مكان ما من المدينة ظهر/ثانية جسر قديم قد طواه النسيان وكان قد بنى قبل 700 عام فوق سطح الأرض. كما أن المياه الباطنية اندفعت نحو الأعلى. على الرغم من أن قوة الزلزال كانت كبيرة في منطقة الخليج المذكور. إلا أن عدد الضحايا البشرية لم يبلغ درجة الكارثة. وذلك لأن المدن المصابة لم تكن كبيرة نسبيا، ولكن الأضرار المخيفة كانت في أهم مدينتين في المنطقة وهما طوكيو العاصمة وأيوكوغاما.

كانت مدينة أيوكوغاما أكبر موانىء اليابان وواقعة على الساحل الغربي لخليج طوكيو، وتبعد بمقدار 65كم عن البؤرة السطحية للزلزال. ويقول شاهد عيان: «لقد انطلقت أصوات صفير دوت بشدة ثم تلتها صدمة قوية، تهدمت نتيجة لها خمُس المباني تقريبا، ولقد حدثت الهزة ظهرا تقريبا. أي

في الوقت الذي كان الناس يحضرون فيه وجبات الغداء.

وارفق الهزة ظهور حرائق كبيرة في العديد من الأماكن وقدر عددها بنحو 208 حريقة، مع أن عددها كان محدودا في البداية، ولكن ازداد عددها فيما بعد وأصبح من الصعب التحكم بها وإخمادها. لقد تهدمت كل البيوت المقاومة للحرائق نتيجة للزلزلة وتكسرت مراكز التزود بالمياه. وفي هذه اللحظة هبت ريح قوية زادت من استعار الحرائق ومن تلاحمها في بعض الأماكن ومن كتبت له النجاة من تهدم البيوت هربا مسرعا أمام أمواج النيران المتقدمة. ولكن أمامهم تلال من حطام البيوت والمباني، وعندما خمد أوار الزلزال كان عدد الهالكين 27 ألف نسمة وعدد الجرحى 40 ألف إنسانا، ودمر تماما قرابة 700 ألف منزل في المدينة، لقد انقطعت اتصالات المدينة مع المدن الأخرى، وقرر ممثلو المدينةإرسال مبعوثين إلى مدينة طوكيو طلبا للنجدة والمساعدة. ولكن ماذا شاهد هؤلاء هناك! الدمار بعينه». بما أن طوكيو كانت على بعد 90كم من بؤرة الزلزال فإن الأضرار من الصدمة الاهتزازية أقل من أضرار مدينة أيوكوغاما. إلا أن الحرائق هنا كانت أشد فتكا وحملت خسائر جسيمة للمدينة وكما في مدينة أيوكوغاما تنطلق الحرائق وبآن واحد في اتجاهات عديدة وفي أماكن كثيرة في المدينة. ولقد نجحت بعض الجهود للحد من اندلاع الحرائق في بعض الأماكن، ولكن في الجزء القديم من المدينة حيث الشوارع والأزقة الضيقة لم تستطع سيارات الإطفاء من دخولها جيدا، لذا فإن وطأة الحرائق كانت شديدة، وخاصة فيما لو علمنا أن أكثر مراكز التزود بالماء قد دمرت. ومما زاد من أوارها الرياح القوية التي حملت معها لهب النيران من مكان إلى آخر فوقف رجال الإطفاء عاجزين عن أداء مهامهم. استمرت الحرائق ثلاث ليال متوالية وأتت على ما يزيد على 40٪ من أحياء المدينة. وهي من مدن الملايين كما نعلم. وكما في مدينة أيوكوغاما فر الناس أمام النيران وارتطموا بحواجز الركام المنزلي والجسور المنهارة والشقوق الفاغرة أفواهها في الشوارع. لجأ الناس إلى الأماكن العالية من المدينة الأقل تخربا وإلى الأماكن البعيدة نسبيا عن منال النيران. ولكن حدثت في إحدى الساحات المكشوفة كارثة مروعة، فلقد تجمع هنا ما يزيد على 40 ألف نسمة فضاقت بهم الساحة وفجأة انفجرت البيوت المجاورة بسبب ارتفاع الحرارة داخلها وهلك الجميع

بسبب الهواء المتقد المشبع بشرر النيران. وعندماانتهت النيران كان عدد الضحايا في المدينة أكثر من 100 ألف نسمة و40 ألف جريحا ودمر 400 ألف منزل تماما بوساطة الحرائق والهزات الأرضية. كثرت بعد الضربة الزلزالية الأساسية الهزات الرادفة، ففي طوكيو مثلا حدث خلال شهر مايو 237 هزة وسجلت في محطة رصد الزلازل في طوكيو 1256 هزة. وهذا عدد كبير بالنسبة لزلازل مماثلة وقعت في أماكن أخرى من العالم. ظهرت في شمال وشرق خلية ساغامي انشطارات صخرية كثيرة وتأثر قاع الخليج بالزلزال بشدة. فلقد هبط وسطه بمقدار 100-2200م وفي جزئه الشمالي ارتفع القاع بمقدار 250م. لقد أدهش التغير الكبير في تضاريس قاع الخليج العلماء. ونادرة تلك الزلازل التي تتسبب في حدوث مثل هذه التغيرات الكبيرة. لم يمض زمن طويل حتى أعاد اليابانيون بناء المدن، ولكن بشوارع عريضة وبأبنية مقاومة للهزات الأرضية والحرائق. وتطورت هندسة بناء المدن الزلزالية بشكل واسع بعد هذاالزلزال في اليابان وفي أنحاء أخرى من العالم.

4-لزلزال غراند-بانكس 1929

لقد كان مركز هذا الزلزال الذي حدث في 18 نوفبر من عام 1929 متمركزا في المحيط الأطلسي في أعماق السفح القاري، وذلك إلى الجنوب من منطقة نيوفاوندلاند وإلى الشرق من منطقة شوتلاند الجديدة (كندا). لقد شعر بالهزة في كل المقاطعات الشرقية لكندا وفي شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية. وبما أن أقرب نقطة لليابسة كانت على بعد 400كم من بؤرة الزلزال، فإن الهزة لم تكن شديدة التأثير وماخلفته من دمار محدود قياسا بالزلازل القوية المعروفة. إلا أن أهم مايميزه تأثيره الكبير في قاع المحيط، فلقد ساعد على دعم مفهوم المحلول الصخري المعلق أو العكر. لقد وجدت سفينتان في منطقة البؤرة الزلزالية، ولقد شعرتا بهزة عنيفة كادتأن تحطمها، ولكن استمر محركا السفينتان بالعمل فظن ربابنة السفينتين أنه تم الارتطام بقاع بحرية ضحلة، إلا أن القاع كان عميقا في الواقع. وهكذا تأكد هؤلاء من أن الصدمة كانت بسبب هزة عنيفة حدثت تحت مياه البحر.

لقد هدمت بعض المداخن على اليابسة نتيجة للهزة الأرضية وتعرض قليل من الطرق للتشقق والانزلاق، كما أن الأدوات المنزلية تساقطت من على رفوف المنازل. ولكن السبب الأساسي للتخريب هنا بسبب الأمواج التسونامية العاتية التي أوجدتها رجفة الأرض. لقد بدأت موجة التسونامي حركتها من المركز الزلزالي السطحي وخلال ثلاث ساعات تقريبا وصلت الشواطىء الجنوبية لشبه جزيرة نيوفاوند لاند، وتسارعت الأمواج بمحاذاة الشاطىء فازدادت ارتفاعا وأصبحت مخيفة مدمرة، فدمرت الكثير من مراكز صيد الأسماك الصغيرة والبيوت الموجودة هناك وقتل سبع وعشرون إنسانا فقط.

ولقد لوحظت ظاهرة التسونامي في أماكن بعيدة جدا كجزر الأزور وبرمودا ولكن دون آثار تخريبية.

إن أهم ما يميز هذا الزلزال وقوعه في أكثر القيعان المحيطية غنى بالكابلات (الأسلاك) الممددة في قاع المحيط. والذاهبة إلى أوروبا وكندا والولايات المتحدة الأمريكية. لقد تمزق إثنا عشر كابلا في 28 موضعا ولقد لفتت هذه الظاهرة أنظار العلماء. كما وجد أن أشد الأماكن تمزقا تقع في مركز البؤرة السطحية، كما أن التمزق الكبير ظهر على بعد 800كم من البؤرة. وتبين فيما بعد أن تقطع أحبال الاتصال لم يتم دفعة واحدة ولا في فترة واحدة. فلقد حدث ذلك لاحقا، الأمر الذي أثار اهتمام العلماء الذين حاولوا تفسير ذلك، واسترعى انتباههم وجود مجاري مائية نهرية مغمورة تمتد بعيدا داخل المحيط، كما في مجرى نهر هدسون. والمجاري هنا عميقة وخانقية تشق العتبة المحيطية، بل وتصل إلى السفح القاري العميق وأقدامه. يعتقد أن موجة العكر التي نجمت عن الهزة الأرضية قد سلكت المجاري المائية الباطنية مندفعة بقوة بسبب ضيق الممر والهزات المتعاقبة وازدادت كثافة الماء العكر مع مرورها فوق قاع المحيط وتحولت إلى مايشبه السيول المدمرة في اليابسة وكثيرا ما تحدث سيول العكر الثانوية مع بعضها لتشكل سيلا أكبر أشد سرعة وكثافة وتخريبا، فأصبح لها قوة صدم كبيرة مكنتها من تمزيق حبال الاتصال الهاتفية واحدة بعد أخرى. ولو حسبنا المسافة والزمن اللازمين لتعاقب تمزق الكابلات لاستطعنا معرفة سرعة سيل العكر هذا. وقدرت سرعته بنحو 90كم/سا، وهي سرعة كافية لتمزيق الأحبال

القاسية. ومما يؤيد ذلك هو أن الأحبال الموجودة في الأماكن المنحدرة قد تمزقت، إلا أنها لم تغمر بالمجروفات الطينية الدقيقة، ولكن الموجودة منها في المواضع القليلة الميل قد غمرته التوضعات الطينية. وقسما منها عمل بعيدا عن مواضعه الأصلية.

يشير ما ذكرناه إلى حجم المواد الطينية الهائل والتي دفعت وحملت بعيدا بسبب الزلزال، وقدر وزنها بملايين الأطنان وخربت كل ما اعترضها أثناء زحفها. مثل هذا المقياس من حركة المواد الصخرية لا يمكن أن تحدثه سوى الهزات الأرضية. أما بقية المؤثرات فإنها أضعف من أن تحرك مثل هذه الكمية من الصخور الدقيقة.

5-زلزال لونغ بيتش

وقع الزلزال في ولاية كاليفورنيا، ولقد حدث في 10 مارس من عام 1993. ولم يكن شديد القوة، ولكن آثاره التخريبية فاقت شدته بكثير. واعتبر نموذجا دراسا جيدا، لأنه بين الوضع المأساوي الذي تميزت به مدن الولايات المتحدة في هذه المنطقة كما أنه كان سببا في تبدل جذري لهندسة البناء في هذه الولاية.

يمتد هنا صدع إينغلوود المعروف وتمركزت بؤرة الزلزال السطحية في عرض المحيط قرب خليج كانتينغتون بيتش. ظهرت الهزات الرادفة في أماكن متعددة من خط الصدع، لذا اعتقد أن الصدع كاملا شارك في الزلزال وخاصة شمال لونغ بيتش. لقد شعر بالهزة الأرضية في مدينتي سان دييغو وسانتا باربارا. أي على بعد 80كم في عمق القارة وشعرت به السفن التي غادرت الميناء منذ فترة غير طويلة قبل الزلزال. كانت قوة الدفع الزلزالية متجهة نحو الأعلى وتضررت كل المساحة الممتدة من كانتينغتون وحتى لوس أنجلوس. وتمركز التدمير الأساسي في منطقة لونغ بيتش، وقدرت الخسائر بنحو 50 مليون دولارا آنذاك والتقديرات الحديثة ترى أن الخسائر أكبر بكثير.

أما لماذا تسبب الزلزال الضعيف هذا بكل هذه الخسائر فلقد تبين أن الهزة قد حدثت في منطقة ذات صخور مؤلفة من الحجارة والحصى والأطيان ومن مجروفات مائية وسيلية إذ يمر هنا نهر لوس أنجلوس. كما

أن تصميم الأبنية كان عاديا لا يقاوم الهزات جيدا، مع أن جنوب ولاية كاليفورنيا مشهورة بتاريخها الزلزالي. ولوحظ أن المباني المتينة تضررت بدرجة أقل. وتضررت المدارس كثيرا ودمرت 85 مدرسة بنسبة 75٪ وكثير من المدارس الأخرى قوضت تماما. ولو قدر للزلزال أن يقع قبل بضع ساعات من حدوثه لمات آلاف الأطفال تحت أنقاض مدارسهم. ولقد أبانت المدارس والأبنية مدى الإنجاز السيىء الذي اتبع في تعميرها، ومن حسن الحظ لم تشهد المدينة حرائق المدينة حرائق كبيرة كما جرت العادة في زلازل أخرى، إذ دمرت أربع محطات حريق من مجموع 12 محطة ومات بعض رجال الإطفاء، ولكن لم يتوقف عملهم وكانت المياه مؤمنة جيدا، إلا أن صفارات الإنذار دمرت وأخمدت كل الحرائق قبل أن تتسع كثيرا ومات قرابة 120 إنسانا.

يبين لنا الزلزال مدى الآثار السيئة التدميرية التي يمكن أن تحدثها الزلازل، فيما لو كانت الأبنية مقامة في أماكن غير صلبة ومعمرة بأشكال رديئة ولا يمكنها أن تقاوم الهزام كما يجب.

بعد هذا الزلزال اتخذت السلطات الحكومية في ولاية كاليفورنيا كل الأسباب المحيطة الزلزالية في بناء المدارس والمنشآت المختلفة، وذلك بالإقلال من أضرار التخريب الزلزالي.

6- زلزال كاليفورنيا 1952

في 21 يوليو من عام 1952، وفي مدينة كيرن كاونتي حدثت هزة أرضية تعتبر أشد الزلازل في جنوب كاليفورنيا خلال المئة سنة الأخيرة، وهي الأكثر تدميرا بعد زلزال سان فرانسيسكو بالنسبة للولايات المتحدة. لقد أحدث الزلزال دمارا كبيرا في مدينة آروين ووتيها تجابي. أما في مدينة بيكرزفيلد فالأضرار متوسطة، ولقد رافق الزلزال الأساسي سلسلة طويلة من الهزات الرادفة. ووقعت إحداها في 11 أغسطس في مكان قريب جدا من مدينة بيكرزفيلد وأتمت مهمة الهزة الأولى في التخريب. ومن هنا نرى أن الهزات الرادفة المتكررة رغم أنها الأضعف فإنها قد أتت على هذه المراكز البشرية، لذا من الصعب التمييز بين ماخربته الهزة الأساسية والهزات الرادفة.

أما سبب الزلزال فيرجع لانزلاق في صدع وايت وولف(*5) إنه فالق صغير نسبيا يقع شمال شرق صدع سان أندرياس، وهو في الواقع من الصدوع والفوالق المجاورة والمرتبطة بصدع سان أندرياس المشهور. لقد بدأ الانزلاق في نقطة تقع على عمق 6كم من سطح الأرض في جنوب غرب نهاية الصدع. وهكذا فالحركة تمت عبر الصدع كاملا. كما تم اكتشاف سلسلة طويلة من الشقوق المتقطعة الانتشار، كما ظهرت انزلاقات في الصدوع الصغيرة وتشقق سطح الأرض وحدثت انزلاقات صخرية في المرتفعات. وبالواقع كأننا أمام خلد عملاق قد شقق ما تحت التربة وأعطانا هذا المشهد. وكثير من التشققات سببها انزلاق الكتل الصخرية الرسوبية. ويمكن أن نشاهد صدعا حقيقيا إلى الشمال الشرقي من مدينة آروين وقد أخذ شكل تدرجات انزلاقية غير عالية (30-60سم). وحدث ميل عام للأرض نحو الشمال الشرقي.

وفي شمال شرق نهاية الصدع تكثر الانكسارات المتوازية. لذا تخلعت الأرض هنا مما يشير إلى حدوث ارتفاعات صدعية محلية. وتقع هنا مجموعة أنفاق للسكك الحديدية ويمكن أن نشاهد الأبعاد الثلاثة للصدوع في هذه الأنفاق. لقد تضررت الأنفاق كثيرا وكذلك السكك الحديدية التي انثنى بعضها بشدة، مما يشير إلى شدة قوة الضغط التي رافقت الزلزلة، ورصدت حركات سقوط وانزلاقات صخرية في الأنفاق وعند مخارجها وفي الأماكن المبنية من الأسمنت المسلح، ولقد تهدمت بعض الأنفاق بشدة فظهرت على السطح الخارجي واحتاجت إلى عمليات إصلاح معقدة ومكلفة. كما ظهرت مشاهد جيولوجية طريفة بعيدا قليلا عن الصدع، فالمنخفضات المترعة بالماء قد حزتها صدوع مستقلة عن الصدع الرئيسي فتعرضت المياه الباطنية لضغط عظيم فاندفعت نحو الأعلى بقوة فتكونت تلاع مخروطية تذكرنا بالمخايط البركانية، وهي مؤلفة من الرمال الناعمة، ورافق ذلك وفي مواضع أخرى انزلاقات وانهيارات واسعة وكثيرا ماغطت الصخور المتساقطة الطرق المعبدة في الجبال، وكثيرا ما تدحرجت الكتل الصخرية الكبيرة إلى المنخفضات المجاورة. لقد ظهر جزء من صدع وايت دولفا الرئيسي وذلك في شمال شرق البؤرة الزلزالية، ولكن الحفريات النفطية

(*5) ف. ن. ياكو شفاومسواه. الجيولوجيا الطبيعية. موسكو. 1977.

أبانت امتداده الأبعد نحو الجنوب الغربي، وتغطية صخور رسوبية نهرية حملها سان هاوكين وظهرت هنا بعض التدرجات الصخرية وبمدى يصل إلى 30-60سم.

لقد أظهرت الزلازل تأثيرات طريفة في المياه الباطنية ففي آبار النفط وسواها بدت تبدلات كبيرة في مستويات المياه. إذ ارتفعت في بعضها كثيرا وتناقصت في أماكن أخرى ويرجع ذلك على مايبدو إلى مظاهر الانضغاط والانكماش والمرونة التي أبدتها الطبقات الحاوية على الماء. ولقد زاد صبيب الكثير من الأنهار بسبب لهزة لفترات محدودة.

بعد أن خمد أوار الزلازل بدأت أبحاث هندسية مكثفة تمفيها فحص كل الأبنية والمؤسسات والمنشآت لمعرفة درجة الأضرار التي لحقت بها وأسباب حدوثها ومدى مقاومتها للهزات الأرضية وذلك للتوصل إلى صورة أوضح عن الزلازل وما يجب اتخاذه من حيطة عند إعادة بناء ماتخرب أوإقامة أبنية حديثة. ولقد تبين أن كل الأبنية التي بنيت على أساس مقاومة الهزات الأرضية لم تتضرر تقريبا. كما أن تلك التي بنيت جيدا وعلى أسس صحيحة قاومت الزلزلة جيدا. وخلاف ذلك بالنسة للأبنية ذات التصميم السيىء والتي لم تراع الحيطة الزلزالية عند البناء. فلقد دفعت الثمن غاليا. ولوحظ أن الأضرار التي أصابت المدارس كانت بسيطة جدا لأنها بنيت بعد زلزال سان فرانسيسكو، الذي انتشرت بعده كما نعلم التصاميم البنائية المقاومة للزلازل في غرب الولايات المتحدة الأمريكية. وفي بناء من طابق واحد هوى السقف على رؤوس أصحابه بينما تداعت الجدران نحو الخارج وذلك لأن السقف لم يكن معشقا جيدا بالجدران. امتدت آثار الزلزلال التخريبية حتى مدينتي لوس أنجلوس ولونغ بيتش، ولكن الأضرار كانت على شكل تشققات وتساقطت بعض أجزائها، علما أن المدينتين تقعان على بعد (110 و160) كم من بؤرة الزلزال.

ومن الطرافة أن نذكر أن بعض الأبنية المتلاصقة قد نصحت بعضها البعض بسبب وصول الهزات الرضية في فترات متباينة وبسبب حركة الأبنية الإرتدادية ونتيجة لذلك تساقطت بعض الجدران أو تشوهت.

وهكذا يظهر لنا أن هذا الزلزال أهمية إقامة الأبنية على قواعد صلبة صخرية وتطبيق هندسة معينة في بنائها لتقاوم الزلزلة أفضل ما يمكن.

7-زلزال بحيرة هيبغين-مونتانا 1959

كان ليل 17 من عام 1959 وضاءً ويرسل القمر أشعته الفضية إلى الأرض ليضفي جمالا أخاذا على جو الليل اللطيف. والمكان على كتف خانق نهر ميديسون في ولاية مونتانا الجنوبية. فط في المنتزه السياحي روك كريك وفي الأبنية المبعثرة على طول النهر المصطافون في سبات عميق بعد يوم من اللهو العابث الصاخب. وغير بعيد من هنا كانت نوافير يلوستون المشهورة تنشد أغاني السعادة. ولكن قبل منتصف الليل بعشرين دقيقة تحولت الأحلام الوردية الوادعة إلى كابوس مرعب، إذ بدأت الأرض ترجف، وتهتز وتزحف، وأخذت الأمواج الاهتزازية ترطم الصخور والبيوت بقسوة بربرية وانطلق هدير مخيف من الصدوع والشقوق. ثم ارتفع دوي صاعق، إذ قذفت كتل صخرية من الصدوع والشقوق. ثم ارتفع دوي صاعق، إذ قذفت كتل صخرية من علو 600م إلى أسفل النهر وكان عرضها قرابة 400م. ورافق ذلك تدحرج كميات كبيرة من الصخور والتربة وبسرعة قدرت بنحو 150كم في الساعة. وسدت في لحظات هذه الصخور مجرى النهر بسد ركامي بلغ ارتفاعه 120م. ودفنت معها كل من في المعسكر تقريبا وبسماكة وصلت إلى 60م. أما الهواء والماء الذي صدمته هذه الكتل فإنها قد اقتلعت الأشجار من جذورها وحطم كل ما اعترضه وأكمل التخريب الذي أنجزته الكتل الصخرية المتساقطة. لقد كان الانجراف الصخري في خانق نهر ميديسون أحد انزلاقات صخرية وترابية كثيرة في منطقة الزلزال، إلا أنها كانت الأعنف والأشد من سواها. ومثل هذه المظاهر تكثر عادة في المناطق الجبلية. ولوحظ أن الصخور كانت مقتطعة من الطبقات الصخرية الأصلية وليس من الغطاء الصخري الفتاتي الذي يغطيها عادة.

ويشير هذا إلى شدة وقوة الزلزلة. لقد بني سد هيبغين في خانق نهر ميديسون الذي تشكل مياهه بحيرة هيبغين، وغير بعيد عن البحيرة. ظهر سد ركامي جديد بسبب الانهيارات الصخرية وبارتفاع وصل إلى 60 مترا، وبدأت المياه تتجمع بين السدين مشكلة بذلك بحيرة زلزالية. وأخذت المياه تتسرب إلى المناطق المجاورة، إلا أن الخطورة الأساسية تمثلت في تزايد عمق البحيرة، والذي سيؤدي حسب رأي المختصين في لحظة ما إلى انهيار السد الركامي هذا، وبالطبع ستنتج عن ذلك كوارث وأضرار أكبر من

تخريب الزلزال. كما أن الزلزال قد أضعف من مقاومة السد الأساسي المقام على البحيرة فلو تهدم السد الجديد لانهار السد الآخر ولظهرسيل عنيف متوحش غني جدا بالصخور والأطيان، مما سيزيد من قوته التدميرية بشكل ملحوظ.

في ظل هذا التهديد تحرك مهندسو الولاياتالمتحدة بسرعة لإيجاد حل لهذه المشكلة. لقد حفر هؤلاء قناة في قمة السد عرضها 75م، وعندما بدأت المياه في الجريان من خلالهاتزايدت حدة الجرف المائي واستطاع المهندسون تدريجيا تعميق القناة بمقدار 15م. لقد أنقص هذا الأمر مياه بحيرة الزلزال إلى النصف وأبعد بذلك خطر تهدم السد.

مع أن أهم سمات هذا الزلزال تمثلت بالانزلاق والانجراف الواسع للصخور وهو أمر معهود في الجبال. إلا أن الأمر المثير هنا بحسب رأي المختصين هو ظهور الصدوع ومظاهر الخفس المحلي، ولقد تمركزت الصدوع بشكل أساسي في شمال البحرية والخفس في جنوبها حيث الصخور الرخوة. أما في الأماكن ذات الصخور الصلبة فالأضرار أقل. وارتفعت بعض الصدوع نحو ستة أمتار وخربت أجزاء من الطرق، كما أنها هدمت العديد من المساكن الواقعة فوقها، كما قدر أن قاع البحيرة قد غاص بمقدار ستة أمتار، وأدى الهبوط إلى حدوث تذبذب شديد في مستوى ماء البحيرة، ويروي شاهد عيان أنه كان في هذه اللحظة واقفا فوق السد والبدر ينير صفحة الماء، وعندما حدثت الهزة نظر إلى البحيرة فلم يتمكن رؤية سطح الماء لانخفاضه الكبير وتراجعه، إذ تم ذلك بشدة وبسرعة. بعد ذلك وبهدير يصم الآذان عادت المياه لترتفع عاليا وتتسلق جدار السد وكادت تنسكب عبره، ثم تراجعت من جديد واندفعت نحو الأعلى ثانية. وتكررت الظاهرة مرات عديدة وبفترة بلغت سبع عشرة دقيقة. وتناقصت شدة التأرجح المائي بعد الحركة الرابعة، ولكنها أخذت بالتناقص شدة وخمدت بعد 11 ساعة. أما بؤرة الزلزال فقد تمركزت في منطقة حديقة ياوستون الشهيرة. فحدثت هنا بعض الأضرار والانزلاقات الصخريةودمرت بعض المنشآت، ولكن الآثار البديعة للزلزال ظهرت في مناطق الينابيع الحارة أو ما يعرف بالجيزر. وكان الكثير منها خامد فتجدد اندفاعه بعد الزلزال. وتركزت الأضرار في مناطق الصدوع، ومن حسن الحظ أن السد بقي صامدا، ولولا

تصميمه الجيد والمقام للزلازل لحدثت كارثة مروعة.

8- زلزال أغادير (المغرب العربي 1960)

أغادير مدينة اصطياف مغربية رائعة تغسل شواطئها الرملية الممتدة 5كم مياه المحيط الأطلسي. وتطل عليها قلعة قصيبة المتهدمة والعائدة للقرن السادس عشر (انظر صورة الغلاف).

لقد كانت المدينة مزيجا من الأحياء الأوروبية الحديثة والعربية والأفريقية القديمة. لقد ازدهرت السياحة هنا بسبب المناخ الدافىء العذب والشاطىء الرملي الذهبي الرمال، وكانت الخدمات ممتازة وكذلك وسائل الراحة. كما أن الفنادق الفخمة كانت عامرة بالمصطافين، وكانت شمس فبراير تبعث الدفء في الماء وفي الناس. وقدر عدد سكان المدينة بنحو 33 ألف نسمة.

الوقت قبيل منتصف ليل 29 فبراير من عام 1960 والناس بين نائم أرهقته متعة النهار ومستيقظ يمضي وقته سعيدا. وفجأة اهتزت المدينة بعنف وخمدت أصداء الموسيقى الصاخبة لتنطلق أصوات الدمار وزعيق الناس وقضي الأمر خلال 15 ثانية وسويت أحياء كاملة (الأحياء القديمة والحديثة السيئة التصميم والتنفيذ). ولكن حتى المركز السياحي والتجاري والفنادق الفخمة لم تسلم من الدمار ولو بنسبة أقل، وكانت نسبة التخريب تتراوح مابين 50 و80٪ وهي نسبة عالية. إذ انهدمت كاملا العديد من الفنادق والمباني القوية وتساقطت الجدران على بعضها وكأنها مصنوعة من ورق مقوى. أما المناطق السكنية المبنية من اللبن والطين أو الحجارة غير المتينة فقد اختفت تماما وتحولت إلى أنقاض وغبار، ومات تحتها آلاف البشر إما مباشرة أو بعد وقت قليل. إذ لم يكن هناك فرق نجدة مناسبة. وبعد هدوء الزلزال أمرت السلطات هناك بهدم كل المدينة. لم يعرف عدد الضحايا بدقة، وأعلن رسميا عن مقتل 12 ألف إنسان وجرح قرابة هذا العدد، ويجب أن نذكر أن مجموع السكان كان 33 ألفا، فنسبة الموت عاليا جدا بين السكان. وحسب بعض التقديرات لا يقل عدد الموتى عن 20 ألف إنسانا.

لقد رصدت الهزة الأرضية هذه في محطات رصد كندية بعيدة جدا، ووجد أن مدى تذبذب الأمواج كان ضعيفا جدا مقارنة مع زلازل أخرى

معروفة قوية. وهذا يعني أن مقدار الزلزال كان متواضعا وأنه أضعف من زلزال سان فرانسيسكو الذي حدث عام 1906 بنحو 3600 مرة. والسؤال الآن لماذا حدث هذا التدمير الهائل؟

إن سبب ذلك يعود أولا: إلى أن بؤرة الزلزال كانت ضحلة كثيرا، إذ لا يزيد عمقها على ثلاثة كيلومترات. فالمدينة إذن قريبة كثيرا من مكان البؤرة الزلزالية الباطنية.

ثانيا: لأن مركز الزلزال السطحي كان غير بعيد عن المدينة. ولقد تمركز التدمير الأشد في قطر امتداده 8كم حول مركز الزلزال. ولسوء الحظ أن المدينة كانت ضمن هذه الدائرة.

ثالثا: لأن المدينة لم تكن مخططة ومبنية بشكل يقاوم الزلازل. بل إن بعض الأبنية أضعف من أن يقاوم صدم رياح عاصفية. لقد تعرضت المدينة نفسها في سنة 1751 لهزة عنيفة دمرت المدينة آنذاك. إن آثار الدمار محتها عوامل الطبيعة مع الزمن، كما أنها قد محيت من ذاكرة الناس. لقد شهدت المدينة عددا من الهزات الأرضية من آن إلى آخر قبل وقوع الزلزال، وتوضح فيما بعد أن المدينة تقع في مركز منطقة زلزالية. ومما ساعد على الدمار أن بناء المدينة قد تم بسرعة فائقة لتحقيق متطلبات إدارية وسياحية، ولكن على حساب النوعية، ولوحظ أن بعض الأبنية التي أقيمت على أسس سليمة تمكنت من مقاومة الهزات الأرضية بشكل جيد. وهذا يشير إلى أنه لو شيدت الأبنية بشكل مناسب لما حدثت مثل هذه الأضرار الجسيمة. ومن هنا يمكن القول إنه كان على المختصين الاستفادة من تاريخ الزلازل في المدينة والجوار واتخاذ الحيطة اللازمة عند بناء البيوت وسواها.

9-زلزال التشيلي 1960

عانت المناطق الوسطى في التشيلي بدءا من 21 مايو(*6) من عام 1960 وحتى نهاية هذا العام وبتناقص مستمر في شدة الزلازل من سلسلة هزات أرضية عنيفة. قد هدمت البنية التحتية للمقومات الاقتصادية لهذه المناطق، الأمر الذي احتاج إلى ضع سنين لإعادة إعمار هذه المناطق من جديد، ولم يستطع التشيليون آنذاك تقدير واقع الزلازل والنتائج المؤلمة التي خلفتها.

(*6) هارون (المصدر السابق).

لقد بدأت سلسلة هزات أرضية صباح السبت، وفي الساعة السابعة انطلقت هزة عنيفة رئيسية كان مركزها في شبهجزيرة آرواووكو، ولقد تسببت في حدوث أضرار جسيمة في مدينة كونسيبسيون وفي مدن شبه جزيرة آراووكو. وتشير خصائص الزلازل هذه إلى عمق بؤرتها الباطنية والتي يعتقد أنها كانت على عمق بؤرتها الباطنية والتي يعتقد أنها كانت على عمق 60كم. لقد تلت الضربة الأولى سلسلة هزات رادفة ضعيفة نسبيا ويحتمل أنها انطلقت من البؤرة الأساسية نفسها. ولكن خلال يوم الأحد أخذت الهزات تزداد ولم تنطلق أية هزة عنيفة حتى الساعة الثالثة نهارا. لقد هرب الناس من بيوتهم ذعرا وهذا أفضل ما يجب عمله، إذ إنه في الساعة الثالثة والدقيقة الحاديةعشر وعندما كان أكثر الناس في الشوارع حدثت هزة تأرجحية عنيفة تشبه الحركة الموجية المؤثرة في زورق في الماء واستمرت 10- 20 ثانية، ولكن الحركة عامة دامت ثلاث دقائق. وبعد ذلك توالت الهزات الرادفة الضعيفة بلا انقطاع تقريبا ولفترة ساعة كاملة. وكانت الأمواج الاهتزازية طويلة المدى. وبعد فترة بسيطة بدأت هزات جديدة عنيفة قصيرة مدى الأمواج تشبه الهزة الأولى.

بعد ساعات من وقوع الزلازل شكلت أقسام الجيولوجية والجيوفيزياء والعمارة في جامعات التشيلي فرق عمل انضم إليها فيما بعد فرق عمل من المكسيك والولايات المتحدة واليابان. ومن حسن الحظ أن البروفسور الكبير بيرسينت أماند كان يدرس في هذه الفترة في جامعة سانتياغو التشيلية، وهو متخصص كبير في عالم الزلازل وعايش العديد من زلازل آلاسكا والولايات المتحدة الأمريكية، ومنها زلزال كيرن كاونتي. ولقد سجل ملاحظات قيمة عن زلزال التشيلي.

لقد كانت الهزات أعنف مايمكن في منطقتين وهما المنطقة الواقعة على الشاطىء المحيطي مابين بوير توسا آويدرا وجزيرة تشيلوئي ثم المنطقة الممتدة مع صدع ريلوناكوي في منطقة البحيرات التشيلية. لقد لوحظ وجود ظاهرة السيش (ارتفاع مستوى ماء البحيرة مكانيا) التي بلغ ارتفاعها مترا. وكانت أشد الهزات في جزيرة تشيلوئي، إذ ظهرت الشقوق السطحية هنا وتكسرت أغصان الأشجار، بل إن بعض الأشجار اقتلعت من جذورها. وفي كثير من الأماكن التي تعرضت للهزات الأرضية كانت القاعدة الصخرية

مكونة من مواد غضارية مشبعة بالماء فتحولت إلى وحول سائلة جرت كالسيول الجامحة وجرفت كل ما صادفته في طريقها.

لقد جرفت سيول الوحل الكثيف في مدينة فالديفي الكثير من البيوت. وفي مدينةبوير تو-مونتي جرى خبث سيلي مؤلف من الرمال والأوساخ باتجاه المرفأ غامرا السفينة التي كانت راسية هناك. لقد تعرضت اليابسة هنا لتبدلات كبيرة.فالجانب الغربي من شبه جزيرة (أراووكا ارتفع بمقدار متر تقريبا وظهر شاطىء جديد نتيجة لذلك. أما في جزيرة موهو فلقد بلغ الارتفاع قرابة المترين. وفي الوقت نفسه حدثت عملية خفس في مناطق عديدة من الساحل والمناطق المجاورة لها. فمثلا مدينة فاليديفينيا كانت ميناءً نهريا في السابق وكانت على بعد عدة كيلومترات من البحر، وبعد الزلازل هبط مجرى النهر كاملا قرب البحر فارتفعت المياه البحيرية المالحة باتجاه اليابسة متجاوزة المدينة. وقرب مدينة مادلينا في جزيرة تشيلوئي غطت مياه البحر مساحة واسعة من الأرض، وعانت كثير من الأماكن من طغيان المياه البحرية، كما ارتفع مستوى الماء في الأنهار بسبب الأمطار العاصفية وانبثاق المياه الباطنية بسبب الهزات الأرضية.

التشيلي كما نعلم بلد القمم البركانية، فإذا ما سرت عبر الطريق الرئيسي كثيرا ما نرى مخارثط بركانية بديعة. ومنها بركان بويوئي الذي كان خامدا منذ عام 1905.

ولقد بدأ البركان نشاطه بعد 48 ساعة تقريبا من وقوع الزلزال الأساسي. لقد قذف البركان في بداية انفجاره الرماد والحجارة والبخارعاليا في الجو ولارتفاع 6كم.

استمرت الاندفاعات البركانية أسابيع عديدة واندفعت كميات كبيرة من البخار والرماد في أماكن عديدة على امتداد شق طوله 30 مترا في سفح المخروط البركاني. هنا وكما شاهدنا في بعض الزلازل تدفقت النوافير المائية المعدنية قاذفة معها كميات كبيرة من الرمال والخبث ومتوضعة على شكل المخاريط البركانية. ويظهر البركان المتجدد هذا أن الهزات الأرضية قد تؤدي إلى تجدد وبعث البراكين الخامدة، بل وقد تتسبب في اندلاع براكين جديدة.

لم تستطع البعثات العلمية التي جابت المنطقة اكتشاف أي صدع يشبه

ما شاهدناه في كاليفورنيا. وتبين أن الانزلاقات الصخرية كانت أهم مظاهر هذا الزلزال. أما التصدعات فكانت خفيفة. واستقر رأي العلماء أن الحركة الزلزالية الأساسية يجب أن تكون في صدع ريلوناكاوي. وظهرت الصدوع قرب الشاطىء عند ميونا وكانت في الطبقات الرسوبية ولكن ليس لها ارتباط مع الصدع السابق.

وبعد أن سجل بير سينت أماند الهزات الرادفة توصل إلى استنتاج مفاده أن الصدع يمر بمحاذاة الشاطىء ومراكز الهزات الرادفة كانت إلى جنوب المنطقة الزلزالية. ويظهر توزع بؤر الزلازل حول خط الصدع هذا،إن تجمع الطاقة التدريجي وتحررها قد شاركت فيه كتل صخرية هائلة بلغ عرضها 300كم وامتدادها 1000كم. وتوضح سجلات محطات الرصد الزلزالية البعيدة إلى الطبيعة المدمرة للزلزال. وهناك وجهات نظر متباينة حول تفسير طبيعة وخصوصية الزلزال. ولكن يبدو من العديد من التحليلات أن الأرض قدتحركت عبر الصدع الممتد نحو شمال شرق. أما بير سينت أماند فلقد تصور حدوث الزلزال كالتالي: لقد وقعت الهزة الأولى وما تلاها من هزات رئيسية في منطقة انشطار الصدع الساحلي، ونتيجة لذلك تم توزع التوترات الاهتزازية التي أدت إلى حركة صدع ريلوناكوي، ولربما ساعدت الحركة هذه المياه الباطنية الغور عميقا نحو خزان الماغما الصخري (الصخور المصهورة) فساعدت على حدوث الانفجار الزلزالي. وعند كلامنا عن الزلزال في غراند بينكس يجب أن نذكر بظاهرة أمواج التسونامي العارمة التي تكونت بسبب حدوث الزلزال في قاع المحيط. لقد أدى زلزال التشيلي إلى حدوث أعظم ظاهرة تسونامي عرفها تاريخ البشر. بعد فترة بسيطة من حدوث الزلزال، وفي الوقت الذي لم يعد فيه الناس بعد من الشاطىء إلى بيوتهم لاحظ هؤلاء تراجع ماء البحر بسرعة وظهر قاع المحيط في أماكن متعددة على الشاطىء، وعرف بالطبع الناس وكذلك السلطات بما سيحدث، لذا هرب الناس من بيوتهم إلى أماكن أكثر ارتفاعا. وبعد فترة قصيرة جدا لم تتجاوز 10-20 دقيقة هجمت الأمواج المحيطية الهائجة السريعة والتي بلغ ارتفاعها ستة أمتار إلى الشواطىء، وحملت معها كل حطام البيوت وجثث الناس والحيوانات إلى مسافات بعيدة في عرض البحر ولمسافة ثلاث كيلومترات وأكثر. وتوالت ظاهرة اندفاع الموج

وتراجعه عن الشاطىء وكان أعنفها الموجتان الثالثة والرابعة. وقتل بعض الناس الذين أسرعوا بالعودة لتفقد منازلهم. استمرت ظاهرة التسونامي حتى فترة ما بعد الظهر من يوم الزلزال، ولقد فقد عدد غير محدود من الزوارق وقتل كل من هرب إلى الزوارق خوفا من الزلزال الذي حدث في اليابسة وذلك لأن الزوارق تحطت تماما مع قدوم أول موجة تسونامية.

لم تعان دولة التشيلي لوحدها من الزلزال، ولكن عانت منه أماكن ودول أخرى بعيدة جدا عن مكان الزلزال. لقد اندفعت موجة التسونامي من شاطىء التشيلي قاطعة المحيط الهادي وبسرعة 640كم في الساعة وبطاقة لم تضعف إلا قليلا. وفي جزيرة هاواي حيث لم يتعامل الناس قط مع التسونامي أبلغت السلطات الناس بقدوم الأمواج العاتية وأنذرتهم بالابتعاد عن الشواطىء. لقد كانت شدة التسونامي في أكثر المناطق هنا أضعف مما قد حسب، ولكن في منطقة هيلو وبسبب غير معروف ارتفعت موجة التسونامي كثيرا. وشوهدت سلاسل الأمواج المتعاقبة، وبلغ ارتفاع الأمواج الأولى أكثر من متر فوق مستوى سطح البحر والثانية ثلاث أمتار. أما الثالثة فكانت الأعظم إذ تجاوز ارتفاعها 12م واستطاعت هذه اقتحام الجدار المقام هنا والممتد بمحاذاة الشاطىء ، فحطمت كل شيء أمامها تقريبا وحملت القسط الأعظم من الحطام إلى عرض البحر أثناء تراجعها. ودمرت خطوط ومحطات الكهرباء وخرب الجزء الأعظم من جزيرة هيلو تماما. لم يأبه الكثير من الناس هنا بإنذار السلطة، لذا كانت الخسائر البشرية كبيرة إذ قتل 61 شخصا وجرح 282.

لقد اندفعت الأمواج أبعد نحو الغرب، وبعد ثماني ساعات من اقتحامها لجزر هاواي وأكثر من 22 ساعة من حدوث الزلزالفي التشيلي وصلت الأمواج الجامحة إلى جزر اليابان مجتازة المحيط الهادي بالكامل. لقد ارتطمت وتكسرت الأمواج عند شواطىء جزر هونسيو وهوكايدو وبلغ ارتفاع الموج 5, 3م.

تلقى الصدمة الموجية الأسطول الراسي هناك وكذلك الموانىء والمنشآت الشاطئية. وكانت الخسائر كبيرة رغم سير الأمواج مسافة 17 ألف كم. وقدرت خسائر المنشآت المدنية فقط بنحو 70 مليون دولارا آنذاك. ولو أضفنا إليها خسائر الأسطول والخسائر الأخرى لتضاعف الرقم إلى 400

مليون دولار، ولقد عانى من الأمواج ما يزيد على 150 ألف ياباني، إذ فقد هؤلاء منازلهم ووسائل عيشهم وقتل 180 شخصا.

لقد استعانت دولة التشيلي بكثير من البعثات لدراسة تأثير الزلازل في المنشآت المختلفة. ولقد كانت مدينة كونسيسبسيون قد عانت من زلزال عام 1939، لذا عمد إلى إقامة أبنية مقاومة للزلازل. وبالواقع لم يحدث زلزال 1960 أضرارا جسيمة في هذه المدينة. وبلغت نسبة الأضرار في مجمع الحديد والصلب بنحو واحد في المئة فقط. ولكن الخسائر الفادحة قد أصابت البيوت التي شيدت قبل عام 1939.

الختام

ماذا علينا أن نفعل؟

إذا ما وقعت الواقعة وحدث الزلزال، ماذا يجب أن نفعل وكيف يجب أن نتصرف. أسئلة مهمة جدا علينا أن نجد لها أجوبة مناسبة، لأنها ستقلل كثيرا من الأضرار وبخاصة الضحايا البشرية.

من المعروف أنه أثناء حدوث الزلازل تكون نسبة الضحايا البشرية من جراء تحرك الترب والصخور غير كبيرة، ولكن القسم الأعظم منها كان نتيجة لأمور أخرى كسقوط الأشياء المنزلية والبنائية المختلفة، ومن الحجارة والزجاج والجدران... الخ، ويمكننا أن نحدد مسببات الضحايا البشرية والأضرار عامة بالأمور التالية(*):

- سقوط حطام الزجاج وبخاصة في الطوابق العليا.
- سقوط أسلاك الكهرباء المتقطعة في الشوارع وعلى المارة وبخاصة في الشوارع المزدحمة والضيقة.
- سقوط الأجسام الثقيلة والصلبة في الشقق السكنية.
- الحرائق التي تسببها أنابيب وأسطوانات الغاز، فيما لو تضررت من الزلزال.
- الحرائق الناجمة عن الأسلاك والوصلات الكهربائية.
- تعطل محطات الضخ المائية وتكسر الأنابيب الناقلة للماء.
- تصرفات الناس الطائشة نتيجة للهلع الذي تملكهم بسبب الهزة الأرضية.

يمكن للناس وللسلطات المحلية وسواها الإقلال من الضحايا البشرية بخاصة إذا ما خطط للأمر بصورة جيدة قبل حدوث الزلازل بفترة طويلة، إذ يمكن على ضوء هذا الواقع أن تحدد الأمور التي يجب على السكان معرفتها، وماذا عليهم أن يفعلوا أثناء الزلزال. كما يمكن تحديد الإجراءات الوقائية اللازمة على مستوى المساكن والمدينة على حد سواء. وهكذا لابد

(*) شيبالين. المصدر السابق.

من تعريف الناس بكيفية التصرف قبل وأثناء وبعد الزلزال، لأنهم هم الذين يناط بهم تنفيذ ما هو ضروري.

١ - قبل الزلزال

- الأمر الأساسي

هو أن نفكر قبل حدوث الزلازل فيما يجب علينا أن نفعله وكيف لنا أن نتصرف أثناء الزلزال، وبكل هدوء وروية واتزان عصبي، وذلك سواء أكنا في المنازل أم في الشوارع، في العمل أو في صالات العرض... الخ. مثل هذا التخطيط العملي والفكري المسبق يساعد الناس على التصرف أثناء الزلازل بهدوء ورباطة جأش أكبر، وهو أهم ما يجب القيام به في جو مملوء بالهلع والارتباك.

أ- في العمل

الاهم هو النظام والتحلي بالانضباط والمسؤولية، يجب أن يكون الاستعداد جيدا فإن أي هلع وخلل في تنفيذ المهمات الواجب القيام بها سيؤدي إلى فوضى ثمنها غال جدا، وبخاصة بالنسبة للأعمال الإنشائية والتركيبية.

يجب أن يتوافر في كل مؤسسة عمل خطة طوارىء جاهزة تنفذ أثناء الزلازل وتحدد فيها مسؤوليات كل فرد ومسؤوليات رجال الطوارىء والإنقاذ في المؤسسة. كما يجب أن تخلى الممرات والردهات والأدراج والسلالم والأبواب الداخلية من كل ما يعيق الحركة والانتقال. كما أنه من الضروري بمكان تثبيت الخزن وكل ماهو ثقيل بشكل جيد. كما أنه لا ينصح بوضع الأشياء الثقيلة على الرفوف. وعلى كل من يعمل أن يعرف أين مواقع مطافىء الحريق وأماكن قطع التيار الكهربائي وإغلاق صنابير الغاز.

ب- في البيت

يجب أن نراقب دوريا أوضاع الأجهزة الكهربائية ووسائط نقل الطاقة والغاز، ويجب أن يعرف كل أفراد المسكن أين موقع مفاتيح الغاز والكهرباء أو أماكن أسطوانات الغاز لإغلاقها بإحكام عند الحاجة.

يجب أن تثبت الخزن والمكتبات وخزن المطابخ بشكل جيد بالجدران أو الأرض. كما أنه يلزم رفع الأشياء الثقيلة من فوق الرفوف، وعدم تعليق الثريات الكبيرة. كما أن على أفراد الأسرة المعرفة الجيدة بطرق الإسعاف

الأولية، لأنها ضرورية جدا وبخاصة عند وقوع الزلازل القوية. وهذا يتطلب أن تكون مواد الإسعافات الأولية متوافرة وفي متناول اليد، كما يجب أن تكون المساكن مجهزة بوسائل الإطفاء المناسبة، وعلى الجميع معرفة موقعها.

2- أثناء الزلزال

لعل الأهم من كل ما ذكرناه هو رباطة الجأش والتصرف المتزن ويجب عدم الاستسلام للهلع، وعلى الكبار تهدئة الشباب والصغار. كما أنه من الضرورة بمكان أن يبقى من هم في المنازل داخل منازلهم ومن هم في الشوارع في الشوارع. وذلك لأن أحداثا مؤسفة كثيرة تحدث عندما يهرع بعض الناس إلى الشوارع وآخرون إلى البيوت. وقد يعمد بعض الأشخاص إلى القفز من النوافذ والشرفات. ومع ذلك يستحسن مغادرة المنازل بالنسبة لمن يعيشون في مساكن طابقية غير عالية. أما في الأبنية الطابقية العالية فيفضل البقاء في المنازل.

كما يجب على أفراد الأسرة التجمع في صالونات المنزل أو قرب الركائز الأسمنتية القوية، ويجب الابتعاد عن الأبواب والنوافذ، وعند الخروج من المنزل يجب الهبوط عبر الدرج وليس بواسطة المصاعد. كما أنه يحذر بل ويحرم استعمال الثقاب أو القداحات أو الشموع أثناء الزلازل، لأنها قد تسبب في حدوث الحرائق بسبب تسرب الغاز.

وفي الشوارع يجب الابتعاد عن الأبنية والإسراع إلى الأماكن المكشوفة، وبالطبع يجب الابتعاد عن الشرفات والأسوار والجدران المختلفة والتماثيل وكل ما يمكن أن يسقط.

وإذا ماكان الإنسان في السيارة يجب الوقوف في الأماكن المكشوفة والبقاء بهدوء في السيارات وعدم مغادرتها وقد يكون لهذه السيارات دور إنقاذي مهم بعد الهزات.

3- بعد الزلزال

يحذر تماما الكذب والتخيل وإعطاء الناس أية معلومات أو تنبؤات أو توقعات بحدوث هزات لاحقة. ويجب مراعاة النشرات والتعليمات الرسمية بشكل جيد. ويجب فحص أسطوانات وأنابيب الغاز والأجهزة الكهربائية

والأسلاك الكهربائية، وإذا ما تضررت يجب إغلاقها بأحكام. كما يجب الانتباه إلى تسرب الغاز، وبالطبع رائحته هي المؤشر الأساسي، وعند حدوث مثل هذا الأمر علينا فتح النوافذ والأبواب لينطلق الغاز خارجا، ويجب مغادرة المسكن مباشرة وإبلاغ المسؤولين عن ذلك. يحذر استعمال الهواتف لإبلاغ الناس بما وقع وإحداث الفوضى والهلع في المجتمع، وربما يحتاج إلى الهاتف في أمور أكثر أهمية كالإسعافات.

يحرم السير بدون حذاء خوفا من شظايا الزجاج أو الأدوات المعدنية الحادة والمسامير والسكاكين والشوك. كما يجب عدم الاقتراب من الغرف المتضررة وعدم الدخول إليها لجلب بعض الحوائج.

يجب أن نتذكر جيداً أن مخاطر الهزات اللاحقة أو الرادفة تقع في الساعات الأولى من حدوث الهزة الأساسية أو الأولى. ولكن يجب الانتباه حتى في خلال الأيام القليلة التالية للهزة الأولى.

ختاما، على الناس أن يتسموا بالهدوء والشجاعة والرزانة والتصرف الحضاري، وخلاف ذلك قد يتحمل المجتمع أضرارا وضحايا كبيرة مؤسفة.

أعظم الكوارث الزلزالية منذ القرن السادس عشر وحتى القرن العشرين

(عدد الضحايا أكثر من 10 آلاف نسمة)(*)

التاريخ	المنطقة	شدة الزلزال في منطقة البؤرة السطحية بالنقط	المقدار (الكبر) (M)	عدد الضحايا بالآلاف
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1556	الصين (شينيسي)	11	8,1	830
1976	=(تيان شان)	11	7,9	655
1703	اليابان	11	8,2	200
1920	الصين (غانصو)	12	8,5	180
1923	اليابان (كانتو)	11	8,3	143
1730	=(هوكايدو)	10	8	137
1948	إيران-تركيا	10	7,3	110
1730	شمال شرق الصين	10	8	100
1883	جاوا (اندونيسيا)	10	8	100
1693	إيطاليا (صقلية، كانتانيا)	10	7,5	93
1908	=(ميسينا)	10	7,5	83
1667	القفقاس (شيماخا)	10	75،	80
1927	الصين (نان شان)	10	8	80
1727	إيران (تبريز)	10	7,5	77
1932	الصين (هانسو)	10	7,6	77
1968	الايكودور	10	8	70

(*) شيبالين. المصدر السابق.

1970	البيرو	10	7,8	67
1755	البرتغال (لشبونة)	11	8,3	62
1783	إيطاليا (كالابريا)	12	8,7	50
1668	الصين (شاندون)	12	8,7	50
1739	الصين (هانسو)	10	7,5	50
1991	شمال غرب إيران	11	7,5	50
1718	الصين (هانسو)	10	7,5	43
1703	إيطاليا، الابينين الأوسط	10	7	40
1754	مصر (القاهرة)	9	7	40
1755	إيران (كاشان)	10	7	40
1989	أرمينيا	11	7,5	35
1797	الايكوادور	10	7,3	-
1939	تركيا (أرزنجان)	10	8	33
1915	إيطاليا (أوتيسانو)	10	7,5	33
1854	اليابان (هونسيو- شيكوكو)	11	8,4	31
1531	البرتغال (لشبونة)	10	7,5	30
1695	شمال الصين	10	7,5	30
1641	إيران (بريز)	10	7,5	30
1707	اليابان	10	8	30
1759	لبنان (بعلبك)	9	7	30
1828	اليابان (هونسيو)	10	8	30
1935	الباكستان (كويتا)	10	7,5	30
1896	اليابان (سانريكو)	10	7,6	28
1939	تشيلي (تشيليان)	10	7,8	28
1868	البيرو، التشيلي	11	8,5	25
1976	أواسط غواتيمالا	10	7,5	23
1850	الصين (سيكان)	9	7,5	21
1715-1717	الجزائر	10	7	20
1752	سوريا	10	7	20

1773	غواتيمالا	10	7,5	20
1812	كاراكاس-ميريدا	10	8,5	20
1822	سوريا-تركيا	9	7	20
1949	آسيا الوسطى	10	7,4	20
1947	الصين (يونان-سيجوان)	9	6,8	20
1978	إيران	10	7,7	20
1838	إيطاليا (كالابريا)	10	6,5	19
1905	الهند (كانغرا)	11	8,6	19
1746	البيرو (ليما)	10	8,0	18
1861	الأرجنتين (ميندوسا)	10	7,0	18
1893	إيران (كوتجان)	10	6,6	18
1688	تركيا (أزمير)	10	7,5	17
1797	فينزويلا (كومانا)	10	7,5	16
1970	الصين (يونان)	10	7,5	16
1653	تركيا (أزمير)	10	7,5	15
1706	إيطاليا	10	7,5	15
1792	اليابان (شيماتارا)	10	7	15
1859	تركيا	9	6,1	15
1883	اليونان-تركيا	9	6	15
1917	أندونيسيا (بالي)	9	6,3	15
1851	إيطاليا	10	6	14
1960	مراكش (أغادير)	10	5,8	14
1509	تركيا (اسطمبول)	9	6,5	14
1815	الصين	9	7	13
1853	إيران (شيراز)	10	7	12
1907	آسيا الوسطى (قره داغ)	9	7,4	12
1934	الهند (بهار)	9	8,4	11

وسنستعرض الآن عدد الزلازل ذات المقادير (7-8) في الفترة 1901-1980

المقدار (الكبر) (M)	العددالعام للزلازل	عدد الضحايا						
		أكثر من 500 ألف	500-50 ألف	50-5 ألف	5 ألف إلى 500	500-50	50-5	أقل
7 , 4-7	907	-	1	12	19	23	25	39
7 , 9-5 , 7	279	-	2	4	9	14	18	16
-8	88	1	2	6	8	14	13	7

وللمقارنة نستعرض عددا من الكوارث الطبيعية التي زاد عدد ضحاياها على ٥٠ألف نسمة

العام	نوع الكارثة	المنطقة	عدد الضحايا بالآلاف
1959	فيضانات	الصين	2000
1931	انهيار سد وفيضانات	=	1000
1887	=	=	900
1642	=	=	300
1737	إعصار وسيول	كالكوتا والبنغال وبنغلاديش	300
1881	إعصار وسيول	فييتنام	300
1970	=	بنغلاديش	300
1878	=	=	215
1362	عواصف وسيول	ألمانيا	100
1421	=	هولندا	100
1852	انهيار سد وسيول	الصين	100
1882	إعصار وسيول	الهند (بومباي)	100
1911	انهيار سد	الصين	100
1281	إعصار- سيول	هولندا	80
1942	إعصار-سيول	بنغلاديش	61
1991	إعصار-سيول	بنغلاديش	135

إن ضخامة عدد الضحايا هنا ليس لأن هذه الكوارث أكثر قوة من

الزلازل، فالزلازل قوة تدميرية هائلة لايجوز أن نقارنها بأي شيء مدمر آخر. ولكن عدد الضحايا الكبير يرجع إلى كثافة السكان العالية هنا. وإلى سوء نوعية المنازل.

ففي جنوب الولايات المتحدة الأمريكية لايزيد عدد ضحايا الأعاصير على العشرات بل وأقل في العديد من الحالات.

المصادر

أولا-الأجنبية

1- Bolt B.A. Nuclear Explosions and Earthqukes. San Francisco. 1976.

2- Brace A. Bolt. Earthquakes Aprimes. San Francisco 1978.

3- John H. Hedgson. Earthquakes and Earth Structure. New Jersy 1964.

4- Haroun Tazieff Guand Lat Terre Tremble Paris 1962.

5- Ward J. Tarbuck and Frederick K. Lutgens Earth Sceince. Ohio, 1976.

6- Mutter. John. c. Floor Spreading Science, vol. 285. Nov. 1992. PP. 1442-1443.

7- Yoshio Fucao Seismic Tomogram of the Earth,s Mantle; Geodynamic implications. Science. vol. 285. oct. 1992. pp. 625-630.

ثانيا- باللغة الروسية

1- يو. أ. بغدانف وسواه، منشأ وتطور المحيطات، موسكو 1978

2- م.م.. جوكوف. أسس الجيولوجيا، موسكو 1973

3- ف.ا. ياكوشف وسواه، الجيولوجيا العامة موسكو، 1988

4- ف.أ. يديدييف.باك كوكينا. منشأ الوحدات البنائية الأرضية، لينينغراد 1988.

5- أ.أ. نيكونوف، حركة القشرة الأرضية الحدية، موسكو 1979.

6- ا.ف. دروميا. ن.ف. شيبالين: الزلازل: أين، متى، لماذا، كيشينيف1985.

7- يو. يوسيفين، الزلازل والكوارث والإنسان، موسكو 1982.

8- ف. ن جاركوف، بنية الأرض الداخلية والكواكب، موسكو1983.

9- ي.ف. بولياكوف، الأبنية المقاومة للزلازل، موسكو، 1983.

10- ج. أ. ايبي، الزلازل، موسكو 1982.

11- ف. أ. أولوموف، انتباه- زلازل، طشقند 1971.

12- ف. ن. ياكوشوفا وسواه، الجيولوجيا الطبيعية، موسكو 1977.

13- ا. م. غورباتشيف، الجيولوجيا العامة، موسكو، 1981

المؤلف في سطور:

د. شاهر جمال آغا

* من مواليد سوريا سنة 1939.

* حصل على الدكتوراه في الجغرافيا الطبيعية من جامعة «بطرس بورج» 1971.

* يعمل أستاذا بقسم الجغرافيا في جامعة دمشق.

* له مؤلفات عدة في الجغرافيا والزلازل أهمها:

- الجزيرة السورية ـ دراسة اللاندشافت والتقسيم المساحي 1971.
- علم المناخ العام جامعة دمشق 1978.
- علم المياه العام جامعة دمشق 1978.
- علم مياه اليابسة جامعة دمشق 1987.
- جغرافية البحار والمحيطات جامعة دمشق 1989.
- جغرافية المناطق الجافة والتصحر جامعة دمشق 1990.
- جغرافية الوطن العربي جامعة دمشق 1988.
- ملحمة أسعد الكامل (ترجمة عن الروسية) 1983.



جيران في عالم واحد

تقرير اللجنة «إدارة شؤون المجتمع العالمي»

أعد الترجمة العربي:

مركز «الأهرام» للترجمة

مراجعة: عبد السلام رضوان

هذا الكتاب

تطالعنا بين وقت وآخر أنباء عن وقوع زلازل في بقعة ما على سطح كوكبنا الأرضي، في هزات تتراوح بين ذبذبات وديعة لا تكاد تثير انتباه أغلب الناس، وكوارث ضارية تفترس بين أنيابها المرعبة مئات الألوف من البشر، وهو الأمر الذي فرض على عقول العامة والعلماء على حد سواء هواجس زلزالية مخيفة جعلت الناس - في كل مكان - يشعرون بأنه ليس هناك موضع على ظهر كرتنا الأرضية في منجاة من هذه الظاهرة المدمرة، وبالطبع ليست منطقتنا - الشرق أوسطية - استثناء من هذه القاعدة.

ولأن الجهل قرين الخوف، سيظل الإنسان يبحث ظاهرة الزلازل، ليبدد أشباح مخاوفه المتعاظمة إزاءها، محاولا استنباط قوانينها، متلمسا السبل لتقليص حجم مخاطرها.

ومن هنا تجيء أهمية هذا الكتاب الذي يجيب عن أسئلة عديدة تدور في عقل الإنسان حول قضايا مهمة في مجال الزلازل، مثل نشأة الأرض وهل لها مدلولات زلزالية؟ وماذا وراء الزلازل من عوامل فيزيائية وكيميائية؟ وما دور الطاقة الحرارية في الهزات الزلزالية؟ وهل توصل الإنسان إلى وسائل دقيقة تعينه على التنبؤ بحدوث الزلازل وميقاتها ومكانها وشدتها؟ ثم هل تسهم عملية التنبؤ التي يضطلع بها العلماء في تحاشي الإنسان الآثار المدمرة للزلازل؟

ولعل الإجابات التي يطرحها هذا الكتاب عن الأسئلة السابقة تزيد من حصيلة الإنسان المعرفية حول الزلازل، ومن ثم تبدد بعضا من هواجسه الزلزالية المخيفة.